

# Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen. 4 Número. 2

Junio 2011



## Originales

Reproducibilidad intersesión de las pruebas distancia dedos planta y distancia dedos suelo para estimar la flexibilidad isquiosural en jugadores adultos de fútbol sala de primera división

El rendimiento deportivo en equipos de remo: el efecto Ringelmann

Heart rate variability behavior at different stages of practice in Zen meditation: a study of the system dynamics using multiresolution analysis

## Revisiones

Whole-body vibration effects in patients affected with Parkinson's disease: a systematic literature review

Efectos de la altitud sobre el crecimiento físico en niños y adolescentes

Pleiotropic effects of physical exercise on healthy aging

Bases fisiológicas comunes para deportes de equipo

## Carta al editor

Repercusión de la hipercisfosis sobre variables antropométricas y funcionales

## Normas editoriales

ISSN: 1888-7546

# Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Publicación Oficial del Centro Andaluz de Medicina del Deporte

## Edita

Centro Andaluz de Medicina del Deporte.  
Consejería de Turismo, Comercio y Deporte.

## Dirección

Leocricia Jiménez López

## Editor

Marzo Edir Da Silva Grigoletto  
editor.ramd.ctcd@juntadeandalucia.es

## Coordinación Editorial

ramd.ctcd@juntadeandalucia.es  
Clemente Rodríguez Sorroche  
(Servicio de Información, Documentación, Estudios y Publicaciones)

## Asesor legal

Salvador Espinosa Soler

## Comité Editorial

Miembros del Centro Andaluz de Medicina del Deporte

Juan de Dios Beas Jiménez  
Carlos de Teresa Galván  
Leocricia Jiménez López

Ramón Antonio Centeno Prada  
José Ramón Gómez Puerto  
Covadonga López López

Marzo Edir Da Silva Grigoletto  
Bernardo Hernán Viana Montaner

## Comité Científico

Alexandre García Mas  
(Fundación Mateu Orfila, España)  
Ary L. Goldberger  
(Harvard Medical School, Boston, USA)  
Benedito Denadai  
(Universidade Estadual de Campinas, Brasil)  
Benno Becker Junior  
(Universidade Luterana do Brasil, Brasil)  
Carlos Ruiz Cosano  
(Universidad de Granada, España)  
Carlos Ugrinowitsch  
(Universidade de São Paulo, Brasil)  
Clodoaldo Antonio de Sá  
(Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Brasil)  
Diana Vaamonde  
(Universidad de Córdoba, España)  
Elisa Muñoz Gomariz  
(Hospital Universitario Reina Sofía, España)  
Eloy Cárdenas Estrada  
(Universidad de Monterrey, México)  
Elsa Esteban Fernández  
(Universidad de Granada, España)

Italo Monetti  
(Club Atlético Peñarol, Uruguay)  
José Carlos Jaenes  
(Universidad Pablo Olavide, España)  
José Ramón Alvero Cruz  
(Universidad de Málaga, España)  
Juan Manuel García Manoso  
(Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España)  
Juan Marcelo Fernández  
(Hospital Reina Sofía, España)  
Juan Ribas Serna  
(Universidad de Sevilla, España)  
Madalena Costa  
(Harvard Medical School, Boston, USA)  
Miguel del Valle Soto  
(Universidad de Oviedo, España)  
Mikel Izquierdo  
(CEIMD. Gobierno de Navarra, España)  
Nicolás Terrados Cepeda  
(Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias)  
Nick Stergiou  
(University of Nebraska, USA)

Xavier Aguado Jódar  
(Universidad de Castilla-La Mancha, España)  
José Alberto Duate  
(Universidade do Porto, Portugal)  
Francisco Trujillo Berraquero  
(Hospital U. Virgen Macarena, España)  
Natália Balagué  
(Universidad de Barcelona, España)  
Jesús Rodríguez Huertas  
(Universidad de Granada, España)  
Guadalupe Garrido Pastor  
(Universidad Politécnica de Madrid, España)  
Dartagnan Pinto Guedes  
(Universidad de Estadual de Londrina, Brasil)  
David Jiménez Pavón  
(Universidad de Zaragoza, España)  
Jonatan Ruiz Ruiz  
(Universidad de Granada, España)  
José Naranjo Orellana  
(Universidad Pablo Olavide, España)



Travessera de Gràcia, 17-21  
Tel.: 932 000 711  
08021 Barcelona

Publicación trimestral (4 números al año).

José Abascal, 45  
Tel.: 914 021 212  
28003 Madrid

REVISTA ANDALUZA DE MEDICINA DEL DEPORTE se distribuye exclusivamente entre los profesionales de la salud.

Disponible en internet: [www.elsevier.es/RAMD](http://www.elsevier.es/RAMD)

**Protección de datos:** Elsevier España, S.L., declara cumplir lo dispuesto por la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal

Papel ecológico libre de cloro.  
Esta publicación se imprime en papel no ácido.  
This publication is printed in acid-free paper.

Correo electrónico: [ramd.ctcd@juntadeandalucia.es](mailto:ramd.ctcd@juntadeandalucia.es)

Impreso en España

Depósito legal: SE-2821-08  
ISSN: 1888-7546

# Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen 4 Número 2  
Junio 2011

Sumario

## Originales

- 47 Reproducibilidad inter-sesión de las pruebas distancia dedos planta y distancia dedos suelo para estimar la flexibilidad isquiosural en jugadores adultos de fútbol sala de primera división  
*F. Ayala y P. Sainz de Baranda*
- 52 El rendimiento deportivo en equipos de remo: el efecto Ringelmann  
*J.C. Caracuel Tubío, J.C. Jaenes Sánchez y J.M. de Marco Pérez*
- 58 Heart rate variability behavior at different stages of practice in Zen meditation: a study of the system dynamics using multiresolution analysis  
*C. Peressutti, J.M. Martín-González y J.M. García-Manso*

## Revisiones

- 63 Whole-body vibration effects in patients affected with Parkinson's disease: a systematic literature review  
*B. del Pozo-Cruz, J.C. Adsuar, J.A. Parraca, P.R. Olivares, E. Herrera y N. Gusi*
- 71 Efectos de la altitud sobre el crecimiento físico en niños y adolescentes  
*M.A. Cossio-Bolaños, M. de Arruda, V. Núñez Álvarez y J.L. Lancho Alonso*
- 77 Pleiotropic effects of physical exercise on healthy aging  
*G. López-Lluch y P. Navas*
- 84 Bases fisiológicas comunes para deportes de equipo  
*N. Terrados, J. Calleja-González y X. Shelling*

## Carta al editor

- 89 Repercusión de la hipercifosis sobre variables antropométricas y funcionales  
*J.R. Alvero Cruz*

# Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volume 4 Number 2

June 2011

Contents

## Original Articles

- 47 Inter-session reproducibility of sit and reach and toe touch tests for estimating hamstring flexibility in young adult first division futsal players  
*F. Ayala and P. Sainz de Baranda*
- 52 Sport performance in rowing teams: the Ringelmann effect  
*J.C. Caracuel Tubío, J.C. Jaenes Sánchez and J.M. de Marco Pérez*
- 58 Heart rate variability behavior at different stages of practice in Zen meditation: a study of the system dynamics using multiresolution analysis  
*C. Peressutti, J.M. Martín-González and J.M. García-Manso*

## Review Articles

- 63 Whole-body vibration effects in patients affected with Parkinson's disease: a systematic literature review  
*B. del Pozo-Cruz, J.C. Adsuar, J.A. Parraca, P.R. Olivares, E. Herrera and N. Gusi*
- 71 Effects of altitude on physical growth in children and adolescents  
*M.A. Cossio-Bolaños, M. de Arruda, V. Núñez Álvarez and J.L. Lancho Alonso*
- 77 Pleiotropic effects of physical exercise on healthy aging  
*G. López-Lluch and P. Navas*
- 84 Physiological common bases for team sports  
*N. Terrados, J. Calleja-González and X. Shelling*

## Letters to the Editor

- 89 The impact of kyphosis on anthropometric and functional variables  
*J.R. Alvero Cruz*



## Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2011;4(2):47-51

www.elsevier.es/ramd



Original

# Reproducibilidad inter-sesión de las pruebas distancia dedos planta y distancia dedos suelo para estimar la flexibilidad isquiosural en jugadores adultos de fútbol sala de primera división

F. Ayala<sup>a</sup> y P. Sainz de Baranda<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Católica San Antonio de Murcia, Murcia, España

<sup>b</sup>Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Castilla La Mancha, Toledo, España.

### Historia del artículo:

Recibido el 19 de julio de 2010

Aceptado el 20 de diciembre de 2010

### Palabras clave:

Coefficiente de variación.

Fiabilidad absoluta.

Distancia dedos planta.

Distancia dedos suelo.

Fútbol sala.

### Key words:

Coefficient of variation.

Absolute reliability.

Sit and reach.

Toe touch.

Futsal.

## RESUMEN

**Objetivo.** Examinar la fiabilidad absoluta de las pruebas de estimación de la flexibilidad de la musculatura isquiosural distancia dedos planta (DDP) y distancia dedos suelo (DDS); así como determinar si los valores de normalidad establecidos en la literatura científica para la prueba distancia dedos planta pueden ser empleados para la prueba distancia dedos suelo, todo ello en jugadores profesionales de fútbol sala.

**Método.** Un total de 30 participantes completaron 4 sesiones de evaluación de la flexibilidad isquiosural empleando las pruebas DDP y DDS, con un intervalo de tiempo de 2 semanas entre sesiones consecutivas. La fiabilidad absoluta fue examinada a través del porcentual error típico de la medida, el porcentaje de cambio en la media y el índice de correlación intraclass (ICC), así como sus respectivos intervalos de confianza.

**Resultados.** Se encontraron altos valores de fiabilidad absoluta tanto para la prueba DDP (4,48% error típico; 0,84% cambio en la media, 0,95 ICC) como para la prueba DDS (5,89% error típico; 2,31% cambio en la media, 0,89 ICC). El 95% del límite de confianza entre las pruebas DDP y DDS informó de un sistemático sesgo de error (5,01 cm) y un amplio 95% error aleatorio ( $\pm 7,46$  cm).

**Conclusión.** Una modificación mayor del 6,72% (DDP) o 8,83% (DDS) en los valores iniciales de flexibilidad isquiosural después de la aplicación de un tratamiento podría ser considerada como un «cambio real». Además, los resultados sugieren que deberían emplearse valores de normalidad diferentes a los establecidos para la prueba DDP para categorizar a jugadores de fútbol sala si se desea utilizar la prueba de valoración DDS.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

## ABSTRACT

### Inter-session reproducibility of sit and reach and toe touch tests for estimating hamstring flexibility in young adult first division futsal players

**Aim.** To examine absolute reliability of the sit and reach test (SRT) and the toe touch test (TT) for estimating hamstring flexibility, as well as to determine whether the sit and reach test cutoff scores may be used for toe touch test in professional futsal players.

**Method.** A total of 30 participants completed 4 hamstring flexibility measurement sessions using SRT and TT with a two-week interval between sessions. Absolute reliability was examined through typical percentage error, percentage change in the mean and intraclass correlations (ICC) as well as their respective confidence limits.

**Results.** High reliability measures were found for SRT (4.48% typical error; 0.84% change in the mean, 0.95 ICC) and TT (5.89% typical error; 2.31% change in the mean, 0.89 ICC). 95% limits of agreement between SRT and TT reported systematic bias (5.01 cm) and wide 95% random error ( $\pm 7.46$  cm).

**Conclusion.** An observed change larger than 6.72% (SRT) or 8.83% (TT) hamstring flexibility baseline scores after performed a treatment would indicate that a real improvement on hamstring flexibility was likely. In addition, the results suggested that different SRT cutoff scores should be used for detecting short hamstring muscles in futsal players measured through TT.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### Correspondencia:

F. Ayala.

Campus de los Jerónimos, s/n.

30107 Guadalupe, Murcia.

Correo electrónico: fayala@pdi.ucam.edu

## Introducción

La evaluación de la flexibilidad de la musculatura isquiosural es una práctica habitual en el ámbito de la salud físico-deportiva. La razón fundamental reside en que reducidos valores de flexibilidad isquiosural han sido relacionados con un incremento de la probabilidad de sufrir distensiones musculares<sup>1-3</sup>, dolor lumbar<sup>4-8</sup>, desarrollo de tendinopatías del tendón rotuliano<sup>9</sup>, dolor femoropatelar<sup>10</sup>, así como una reducción del rendimiento físico-deportivo<sup>11-13</sup>.

La valoración eficaz del estado de una musculatura requiere de la selección de pruebas diagnósticas que posean un elevado grado de fiabilidad y validez, así como un reducido gasto humano y material. En este sentido, las pruebas de valoración «distancia dedos planta» (DDP) o *sit and reach* son probablemente las herramientas de estimación de la flexibilidad isquiosural más utilizadas por clínicos y especialistas del ámbito físico-deportivo<sup>14-16</sup>. Dentro de las diferentes pruebas de valoración DDP existentes, la «clásica prueba DDP» o *classical sit and reach test*, originalmente descrita por Wells y Dillon<sup>17</sup>, así como la «prueba distancia dedos suelo» (DDS) o *toe touch test* son a menudo incluidas dentro de diferentes baterías de pruebas relacionadas con la condición física<sup>18,19</sup>.

La gran popularidad de las pruebas DDP en el ámbito físico-deportivo parece residir más en su facilidad de uso y escaso material necesario para su desarrollo que en la evidencia científica que existe con respecto a su grado de fiabilidad y validez. Así, la literatura científica sugiere que las pruebas DDP poseen una moderada validez para estimar la flexibilidad de la musculatura isquiosural en diferentes poblaciones: a) escolares<sup>20-23</sup>; b) adultos jóvenes sedentarios<sup>14,24-33</sup>; c) adultos físicamente activos-deportistas<sup>34,35</sup> y d) adultos mayores<sup>33,36,37</sup>.

Sin embargo, por lo que respecta al grado de fiabilidad de las pruebas DDP, no se han encontrado estudios científicos que analicen la fiabilidad absoluta inter-sesión, definida como la estabilidad de la medida a lo largo del tiempo. En este sentido, el conocimiento de la fiabilidad absoluta de las diferentes pruebas DDP es una información muy importante para clínicos y especialistas del ámbito físico-deportivo porque podría ser empleada para estimar la magnitud necesaria en la variación de los niveles iniciales de flexibilidad isquiosural en respuesta a un tratamiento, que podría ser considerada como un «cambio real», más allá del error de la medida<sup>38,39</sup>. A nivel práctico, la fiabilidad absoluta permitirá valorar la «eficacia real» de programas de intervención sobre el nivel de flexibilidad isquiosural de pacientes y deportistas. Igualmente, otro uso importante de la fiabilidad absoluta es la posibilidad de comparación entre diferentes pruebas diagnósticas e incluso, clínicos e investigadores podrían emplear esta información para determinar el tamaño muestral de sus estudios<sup>38,39</sup>.

Por lo tanto, los objetivos principales de este estudio fueron: a) examinar la fiabilidad absoluta inter-sesión de las pruebas de estimación de la flexibilidad de la musculatura isquiosural DDP y DDS; así como b) determinar si los valores de normalidad establecidos en la literatura científica para la prueba DDP pueden ser empleados para la prueba DDS, todo ello en jugadores profesionales de fútbol sala.

Como hipótesis inicial se estableció que: a) las pruebas DDP y DDS presentarían una adecuada fiabilidad absoluta desde el punto de vista clínico; y b) deberían establecerse diferentes valores de normalidad para ambas pruebas para el diagnóstico clínico de sujetos con cortedad isquiosural.

## Método

### Participantes

Un total de 40 deportistas (estatura: 173,3 ± 4,88 cm; peso: 70,04 ± 9,88 kg) sin alteraciones del sistema músculo-esquelético en el raquis ni en las extremidades superiores e inferiores participaron en este estudio. Como criterios de exclusión se establecieron: a) el no asistir a todas las sesiones de evaluación y b) sufrir cualquier alteración del sistema músculo-esquelético durante el periodo de tiempo que comprendió la fase de recogida de datos.

Los deportistas eran jugadores profesionales de fútbol sala con más de 8 años de práctica deportiva (4-7 sesiones de entrenamiento semanales, con una duración de 1,5 horas por sesión). Todos los participantes jugaban en la primera (división de honor) o segunda (división de plata) de la División Nacional de Fútbol Sala. El estudio fue llevado a cabo durante la fase competitiva del año deportivo 2007-2008.

Todos los participantes fueron verbalmente informados de la metodología, así como de los propósitos y posibles riesgos del estudio, y firmaron un consentimiento informado. El presente estudio fue aprobado por el Comité Ético y Científico de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (España).

### Procedimiento

El estudio de la fiabilidad absoluta de las pruebas DDP y DDS fue llevado a cabo de acuerdo con las recomendaciones de la *American Psychological Association*<sup>40</sup>. Así, una semana antes del comienzo de la fase experimental, todos los participantes fueron sometidos a una sesión de familiarización con el propósito de que conocieran la correcta ejecución técnica de las pruebas mediante la realización práctica de cada una de ellas. Igualmente, otro propósito de esta sesión fue la reducción del posible sesgo de aprendizaje sobre los resultados obtenidos en las diferentes valoraciones. Tras la sesión de familiarización, cada participante fue examinado un total de 4 sesiones, con un intervalo de tiempo de 2 semanas entre sesiones consecutivas. Cada una de las sesiones de evaluación fue llevada a cabo por los mismos dos clínicos experimentados (uno conducía la prueba y el otro registraba los resultados) bajo las mismas condiciones ambientales y franja horaria para tratar de minimizar la posible influencia de los ritmos circadianos sobre la variabilidad de los resultados<sup>41</sup>.

Previamente a cada sesión de valoración, todos los participantes realizaron 5 minutos de calentamiento aeróbico (carrera ligera) unido a una serie de ejercicios de estiramientos estandarizados (siguiendo las recomendaciones de Sainz de Baranda y Ayala<sup>42</sup>), enfatizando la actividad de los músculos isquiosurales y flexión de tronco<sup>14,20,22,27,43,44</sup>. En este sentido, dos ejercicios de estiramiento fueron seleccionados, imitando ambos la posición adoptada en las dos pruebas de valoración seleccionadas (DDP y DDS). Estudios previos sugieren que las modificaciones que el estiramiento provoca sobre las propiedades viscoelásticas de la musculatura permanecen estables durante al menos 20 minutos tras la aplicación de volúmenes de estiramiento de 120-150 segundos<sup>45,46</sup>. Por ello, para asegurar la estabilidad en las propiedades de la musculatura isquiosural durante todo el proceso de valoración, la secuencia de ejercicios de estiramientos presentó un volumen total de 180 segundos (3 series de 30 segundos por ejercicio).

El calentamiento aeróbico y la secuencia estandarizada de estiramientos fue llevada a cabo porque: a) todas las pruebas de valoración someten a la musculatura isquiosural a fuerzas tensionales máximas; y

b) para tratar de minimizar la variabilidad y error estándar de la medida mediante la reducción del efecto que el estiramiento y la diferente temperatura muscular poseen sobre las propiedades viscoelásticas del tejido blando<sup>47</sup>.

Una vez finalizados el calentamiento y los estiramientos, los participantes fueron instados a realizar dos intentos máximos para cada una de las pruebas de valoración (DDP y DDS) de forma aleatoria, empleándose el valor medio de cada par de intentos para cada prueba de valoración en el análisis estadístico<sup>22,44</sup>. La aleatorización en la realización de las pruebas de valoración se llevo a cabo a través de la extracción ciega por parte de cada participante de una carta de una baraja española, de tal forma que la primera prueba que se debía realizar estuvo determinada por el número de la carta seleccionada: los números pares equivalían a la prueba DDP y los impares, a la prueba DDS. Además, la justificación de la realización de dos intentos máximos para cada una de las pruebas estuvo basada en el trabajo de Patterson et al<sup>48</sup>, quienes sugirieron que, dada la elevada consistencia interna intra-sesión de la medida en las pruebas DDP, la media de dos intentos máximos podría ser suficiente para obtener una valoración apropiada de la flexibilidad isquiosural.

Cada participante fue examinado con ropa deportiva y sin calzado<sup>20,28,43</sup>. Se permitió un periodo de descanso de 2-3 minutos entre las pruebas de valoración<sup>16,27,43</sup> con un descanso de aproximadamente 30 segundos entre cada uno de los dos intentos para cada prueba.

### Pruebas de valoración

Las pruebas de valoración DDP y DDS fueron llevadas a cabo siguiendo el procedimiento establecido por el ACSM<sup>49</sup>. Se utilizó para ambas pruebas un cajón con una regla milimetrada adherida a su superficie exterior. La regla milimetrada presentaba una marca situada a los 35 centímetros, la cual representaba el punto donde la yema de los dedos de las manos formaba una línea perpendicular con la punta de los dedos de los pies. De esta forma, el resultado de cada una de las pruebas de valoración en centímetros fue siempre positivo, incluso para aquellos participantes que no fueron capaces de alcanzar la tangente al extremo más distal del pie<sup>21,43</sup>.

#### Prueba distancia dedos planta

Los participantes comenzaban sentados en el suelo con las piernas juntas, rodillas extendidas y plantas de los pies apoyadas contra la tabla del cajón de medición. Entonces, los participantes extendieron los brazos, colocaron una mano encima de la otra y comenzaron a realizar una lenta y progresiva flexión máxima de tronco sin flexionar rodillas<sup>20,27,28</sup>. Durante la prueba, un examinador comprobó que: a) las plantas de los pies permanecían totalmente apoyadas en la superficie del cajón; y b) que las rodillas se encontraban totalmente extendidas.

#### Prueba distancia dedos suelo

Los participantes se situaron de pie sobre el cajón de medición con las piernas ligeramente separadas (15-20 centímetros). Las instrucciones de ejecución fueron similares a las fijadas para la prueba DDP. Así, los sujetos fueron instados a realizar una flexión máxima del tronco, con rodillas y brazos extendidos, y la planta de los pies completamente apoyada sobre la superficie del cajón de medición.

### Análisis estadístico

El cálculo de la fiabilidad absoluta para las pruebas de valoración DDP y DDS fue examinado a través del «error típico de la medida» (variación

intra-sujetos), la magnitud de «cambio de medias», expresados ambos en términos porcentuales; así como a través del índice de correlación intraclassa (ICC) usando el método previamente descrito por Hopkins<sup>39</sup>. Asimismo, los límites de confianza (superior [LS] e inferior [LI]) fueron establecidos para cada uno de los tres estadísticos anteriores. La fiabilidad absoluta para cada prueba de valoración fue calculada empleando el valor medio de los valores de fiabilidad de cada una de las sesiones pareadas consecutivas (2-1, 3-2, 4-3) para cada una de las pruebas de valoración<sup>38</sup>. Brevemente, un 2 (DDP y DDS)  $\times$  4 (sesión de valoración 1-4) análisis de la varianza con medidas repetidas en el último factor (RMANOVA) fue empleado para identificar el cambio en los valores medios y la desviación típica de la diferencia entre las sesiones de valoración pareadas consecutivas para cada una de las pruebas de valoración (*Bonferroni post hoc test*). La esfericidad de los datos fue verificada a través de la prueba de Mauchly. El porcentaje del error típico (expresado como coeficiente de variación) fue calculado usando el logaritmo de los resultados obtenidos por cada uno de los participantes empleando la siguiente fórmula:  $100(e^s - 1)$ , donde  $s$  es el error típico (desviación típica de la diferencia de medias entre valoraciones consecutivas /  $\sqrt{2}$ ). El cambio de medias se calculó a través del análisis de la varianza como diferencia de medias entre sesiones consecutivas, tomando el logaritmo de los valores conseguidos por los participantes. Por su parte, el ICC de la muestra fue calculado siguiendo la fórmula:  $(F - 1) / (F + k - 1)$ , donde  $F$  es el F-ratio de los sujetos y  $k$  (4) es el número total de las sesiones de valoración<sup>38,50</sup>.

Para la evaluación del grado de acuerdo entre las pruebas DDP y DDS se utilizó el método estadístico descrito por Bland y Altman<sup>51</sup>, el cual permite explorar si ambas pruebas podrían ser intercambiables y si los valores de referencia establecidos para la prueba DDP podrían ser utilizados para la prueba DDS.

### Resultados

Treinta jugadores profesionales de fútbol sala (estatura:  $172,9 \pm 4,51$  cm; peso:  $69,74 \pm 7,51$  kg) completaron este estudio. Diez participantes fueron excluidos de la muestra por perder una o más sesiones de valoración.

La tabla 1 presenta la estadística descriptiva (resultado medio de cada sesión de valoración [ $k = 4$ ]  $\pm$  desviación estándar) de la muestra de estudio para cada prueba de valoración.

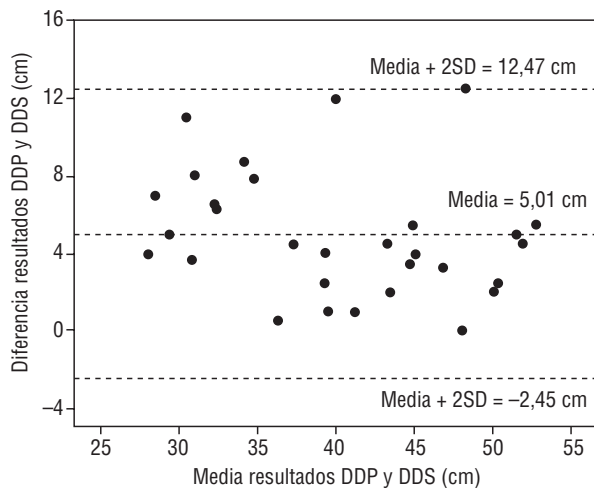
El porcentaje del error típico para la prueba DDP fue 4,48% (LS = 6,26, LI = 3,52), mientras que para la prueba DDS fue 5,89% (LS = 8,10, LI = 3,18). Por su parte, el porcentaje de cambio en la media para el DDP fue de 0,84% (LS = 3,36, LI = 1,60), y para el DDS fue de 2,71% (LS = 7,23, LI = -1,52). Por último, el ICC fue de 0,95 (LS = 0,98, LI = 0,92) y 0,89 (LS = 0,95, LI = 0,79) para las pruebas DDP y DDS respectivamente.

La representación gráfica (fig. 1) del análisis estadístico propuesto por Bland y Altman<sup>51</sup> sugirió que las diferencias entre ambas pruebas no fueron proporcionales a la media ( $r = 0,13$ ;  $p = 0,31$ ). Además, cuando los

**Tabla 1**  
Resultados conseguidos en las diferentes sesiones de valoración ( $k = 4$ )

	Sesión 1 (media $\pm$ SD)	Sesión 2 (media $\pm$ SD)	Sesión 3 (media $\pm$ SD)	Sesión 4 (media $\pm$ SD)
DDP (cm)	42,43 $\pm$ 7,52	42,74 $\pm$ 7,86	43,57 $\pm$ 8,97	44,02 $\pm$ 9,83
DDS (cm)	36,81 $\pm$ 8,51	38,12 $\pm$ 8,78	40,34 $\pm$ 8,69	39,78 $\pm$ 8,55

DDP: distancia dedos planta; DDS: distancia dedos suelo; SD: desviación estándar



**Fig. 1.** Los valores pertenecen a la media de los resultados obtenidos en las cuatro sesiones de valoración efectuadas. Tomado de Bland et al. DDP: distancia dedos planta; DDS: distancia dedos suelo.

datos fueron logarítmicamente transformados, la correlación entre sus medias y la diferencia fue ligeramente mayor ( $r = 0,38$ ;  $p = 0,16$ ). Por lo tanto, existe una evidencia para expresar los datos como sesgo error  $\pm$  95% error aleatorio, 5,01 cm  $\pm$  7,46 cm.

## Discusión

El análisis de la fiabilidad absoluta llevado a cabo en este estudio informó de bajos valores de variabilidad intra-sujetos expresado como coeficiente de variación, tanto para la prueba DDP (4,48%) como para la prueba DDS (5,89%), después de 4 sesiones de medida (con un intervalo de dos semanas entre sesiones consecutivas). En este sentido, una variabilidad menor del 10% ha sido considerada como aceptable por la literatura científica<sup>39,41,52</sup>. Igualmente, el porcentaje medio de cambio en la media de los resultados entre sesiones consecutivas fue reducido (no significativo) en ambas pruebas (DDP = 0,84%; DDS = 2,71%). Por último, se obtuvieron valores de 0,95 y 0,89 para el ICC en las pruebas DDP y DDS respectivamente.

Los resultados sobre la fiabilidad absoluta de las pruebas de valoración DDP y DDS derivados de este estudio proporcionan una información muy útil para clínicos y demás miembros del ámbito físico-deportivo, pues les permite la toma de decisiones justificada sobre si ha ocurrido un «cambio real» entre sesiones de valoración tras la aplicación de un tratamiento (ejemplo: la aplicación de un programa de estiramientos para la mejora de la flexibilidad isquiosural), o si por el contrario, el cambio observado es simplemente un producto del error típico de la medida.

En este sentido, Hopkins<sup>38</sup> sugiere que un umbral en torno a 1,5-2 veces la magnitud del error típico podría ser apropiado para indicar que se ha producido un cambio real en los niveles previos. Así, un cambio en la flexibilidad isquiosural mayor de 6,72-8,96% (DDP) u 8,83-11,78% (DDS) tras la realización de un programa de intervención podría indicar que un probable cambio real se ha producido. Otra interesante implicación para la exploración clínica podría ser que tan solo una sesión de familiarización de alrededor de 20 minutos sería suficiente para minimizar el efecto que el aprendizaje podría tener en el resultado final, ba-

sándonos en los bajos valores de porcentaje de cambio en la media de los resultados encontrados en este estudio. Esta hipótesis, aunque de naturaleza especulativa, ha sido igualmente sugerida por diversos autores basándose en sus experiencias clínicas<sup>23,48</sup>.

El porcentaje medio de error típico de la prueba DDP fue ligeramente menor que su homónimo para la prueba DDS. Quizás la diferencia en la posición de ejecución adoptada para ambas pruebas (sentado o de pie) podría afectar al porcentaje de error típico. Así, una posible explicación podría ser que el movimiento inherente a la prueba DDS no está tan restringido como el movimiento para la prueba DDP porque solo las plantas de los pies están en contacto con el suelo, lo cual permite una mayor participación de la fuerza de la gravedad y por tanto, podría esperarse una mayor inclinación de la pelvis<sup>26</sup>.

El análisis del 95% del límite de concordancia entre las pruebas DDP y DDS fue utilizado para comprobar si el resultado de la máxima flexión del tronco alcanzado por ambas pruebas fue diferente y si los mismos valores de normalidad pueden ser usados para detectar casos de cortedad isquiosural. El análisis de regresión mostró una alta correlación entre las pruebas DDP y DDS ( $r = 0,89$ ). Sin embargo, el análisis de la concordancia entre ambas pruebas mostró un sesgo error significativo (5,01 cm) con un 95% de error aleatorio de  $\pm$  7,46 cm. Por lo tanto, aunque el coeficiente de correlación entre las pruebas DDP y DDS fue alto, el 95% límite de concordancia mostró considerables discrepancias entre las dos pruebas y, por ello, el grado de concordancia podría no ser aceptable desde el punto de vista clínico. Así, son necesarios diferentes criterios de normalidad para cada una de las pruebas de valoración, sin que pueda emplearse en la prueba DDS el previamente establecido para la prueba DDP.

Una de las potenciales limitaciones de este estudio fue la población utilizada. Aunque el diseño contempló 40 participantes y 4 sesiones de evaluación, lo cual responde a las demandas mínimas establecidas por Hopkins<sup>39</sup> (50 participantes y 3 sesiones de evaluación), al final 30 participantes completaron el estudio, todos ellos homogéneos en edad y nivel de condición física, lo que limita levemente la validez externa de los resultados. Igualmente, para promover la consistencia entre las pruebas de valoración, el grado de estiramiento durante el movimiento máximo de flexión de tronco fue determinado por los participantes en lugar de por el clínico. Futuras investigaciones deberían considerar establecer un criterio de estiramiento normalizado en función del peso corporal para intentar aplicar la misma fuerza de estiramiento<sup>25</sup>, así como el empleo de un mayor número de sujetos y de sesiones de evaluación.

Por lo tanto, los resultados del actual estudio establecieron que: a) las medidas de fiabilidad absoluta calculadas a partir del método previamente descrito por Hopkins<sup>39</sup> mostraron aceptables valores de variabilidad intra-sujetos ( $< 10\%$ ) y cambios en la media, así como altos valores de ICC en ambas pruebas de valoración (DDP = 4,48% error típico, 0,84% cambio en la media y 0,95 ICC; DDS = 5,89% error típico, 2,31% cambio en la media y 0,89 ICC); y b) las pruebas de valoración DDP y DDS necesitan diferentes valores de normalidad para la detección de casos de acortamiento isquiosural en jugadores profesionales de fútbol sala.

## Financiación

Este trabajo es resultado del proyecto 06862/FPI/07 financiado con cargo al Programa de Formación de Recursos Humanos para la Ciencia y la Tecnología de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia.



## Bibliografía

- Croisier JL, Forthomme B, Namurois MH, Vanderthommen M, Crielaard JM. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med.* 2002;30:199-203.
- Sexton P, Chambers J. The importance of flexibility for functional range of motion. *Athl Ther Today.* 2006;3:13-7.
- Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *Am J Sports Med.* 2003;31:41-6.
- Biering-Sorensen F. Physical measurements as risk indicator for low-back trouble over a one year period. *Spine.* 1984;9:106-19.
- Cailliet R. *Low back pain syndrome.* Philadelphia: Davis, FA; 1988.
- Mierau D, Cassidy JD, Yong-Hing K. Low-back pain and straight in children and adolescents. *Spine.* 1989;14:526-8.
- Somhegyi A, Ratko I. Hamstring Tightness and scheuermann's disease. *Am J Phys Med Rehabil.* 1993;72:44.
- Wherenberg WB, Costello M. Clinical evaluation of the backmate lower lumbar rehabilitation system. Results of a preliminary study. *J Orthop Sport Phys Ther.* 1993;17:185-90.
- Witvrouw E, Bellemans J, Lysens R, Dannels L, Cambier D. Intrinsic risk factors for the development of patellar tendinitis in an athletic population. A two-year prospective study. *Am J Sports Med.* 2001;29:190-5.
- Witvrouw E, Lysens R, Bellemans J, Cambier D, Vanderstraeten G. Intrinsic risk factors for the development of anterior knee pain in an athletic population. A two-year prospective study. *Am J Sports Med.* 2000;28:480-9.
- Andersen JC. Flexibility in performance: Foundational concepts and practical issues. *Athle Ther Today.* 2006;3:9-12.
- Kovacs M. The argument against static stretching before sport and physical activity. *Athle Ther Today.* 2006;2:6-8.
- Shehab R, Mirabelli M, Garenflo D, Fetters MD. Pre-exercise stretching and sports related injuries: Knowledge, attitudes and practices. *Clin J Sport Med.* 2006;16:228-31.
- Baltaci G, Un N, Tunay V, Besler A, Gerceker S. Comparison of three different sit and reach tests for measurement of hamstring flexibility in female university students. *Br J Sports Med.* 2003;37:59-61.
- Holt LE, Pelham TW, Burke DG. Modifications to the standard sit-and-reach flexibility protocol. *J Athle Train.* 1999;34:43-7.
- López PA, Sainz de Baranda P, Rodríguez PL, Ortega E. A comparison of the spine posture across several sit-and-reach test protocols. *J Sci Med Sport.* 2007;10:456-62.
- Wells KF, Dillon EK. The sit-and-reach. A test of back and leg flexibility. *Res Q.* 1952;23:115-8.
- American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance. *AAHPERD Health Related Physical Fitness Test Manual.* Reston, VA: Author; 1980.
- Council of Europe Committee for the Development of Sport. *EUROFIT: Handbook for the EUROFIT Tests of Physical Fitness.* Strasbourg: Council of Europe; 1993.
- Castro-Piñero J, Chillón P, Ortega FB, Montesinos JL, Sjoström M, Ruiz JR. Criterion-related validity of sit-and-reach and modified sit-and-reach test for estimating hamstring flexibility in children and adolescents aged 6-17 years. *Int J Sports Med.* 2009;30:658-62.
- Cornbleet S, Woolsey N. Assessment of hamstring muscle length in school age children using the sit and reach test and the inclinometer measure of hip joint angle. *Phys Ther.* 1996;8:850-5.
- Hartman JG, Looney M. Norm-reference and criterion-referenced reliability and validity of the back-saver sit-and-reach. *Meas Phys Educ Exer Sci.* 2003;7:71-87.
- Jackson AW, Baker A. The relationship of the sit and reach test to criterion measures of hamstring and back flexibility in young females. *Res Q Exerc Sport.* 1986;57:183-6.
- Chung PK, Yuen CK. Criterion-related validity of sit-and-reach tests in university men in Hong Kong. *Percept Mot Skills.* 1999;88:304-16.
- Davis DS, Quinn RO, Whiteman CT, Williams JD, Young CR. Concurrent validity of four clinical tests used to measure hamstring flexibility. *J Strength Cond Res.* 2008;22:583-8.
- López-Miñarro PA, Andújar PS, Rodríguez-García PL. A comparison of the sit-and-reach test and back-saver sit-and-reach test in university students. *J Sports Sci Med.* 2009;8:116-22.
- López-Miñarro PA, Sainz de Baranda P, Rodríguez-García PL, Yuste JL. Comparison between sit-and-reach test and V sit-and-reach test in young adults. *Gazz Med Ital - Arch Sci Med.* 2008;167:135-42.
- López-Miñarro PA, Sainz de Baranda P, Yuste JL, Rodríguez PL. Validez del test sin-and-reach unilateral como criterio de extensibilidad isquiosural. Comparación con otros protocolos. *Cultura, Ciencia y Deporte.* 2008;8:87-92.
- Hui SC, Yuen PY. Comparing the validity and reliability of the modified back saver sit-reach test and four other protocols. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(5)suppl:320.
- Hui SC, Yuen PY. Validity of modified back-server sit and reach test: a comparison with other protocols. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1655-9.
- Perret C, Poiradeau S, Fermanian J, Colau MM, Benhamou MA, Revel M. Validity, reliability, and responsiveness of the fingertip-to-floor test. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82:1566-70.
- Youdas JW, Krause DA, Hollman JH. Validity of hamstring muscle length assessment during the sit-and-reach test using an inclinometer to measure hip joint angle. *J Strength Cond Res.* 2008;22:303-9.
- López PA, Ferragut C, Alacid F, Yuste JL, García A. Validez de los test dedos-planta y dedos suelo para la valoración de la extensibilidad isquiosural en piragüistas de categoría infantil. *Apunts.* 2008;157:24-9.
- Rodríguez-García PL, López-Miñarro PA, Yuste JL, Sainz de Baranda P. Comparison of hamstring criterion-related validity, sagittal spinal curvatures, pelvic tilt and score between sit-and-reach and toe-touch tests in athletes. *Med Sport.* 2008;61:11-20.
- Jones CJ, Rikli RE, Max J, Noffal G. The reliability and validity of a chair sit-and-reach test as a measure of hamstring flexibility in older adults. *Res Q Exerc Sport.* 1998;69:338-43.
- Liemohn W, Sharpe GL, Wasserman JF. Criterion related validity of the sit-and-reach test. *J Strength Cond Res.* 1994;8:91-4.
- Lemmink K, Kemper H, de Greef M, Rispens P, Stevens M. The validity of the sit-and-reach test and the modified sit-and-reach test in middle-aged to older men and women. *Res Q Exerc Sport.* 2003;74:331-6.
- Hopkins WG. Calculating the reliability intraclass correlation coefficient and its confidence limits (Excel spreadsheet). 2009. Disponible en: [news-tats.org/xlcc.xls](http://news-tats.org/xlcc.xls).
- Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 2000;30:1-15.
- American Psychological Association. *Standards for educational and psychological testing.* Washington (DC): APA; 1995.
- Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med.* 1998;4:217-38.
- Sainz de Baranda P, Ayala F. Chronic flexibility improvement after 12 week stretching program utilizing the ACSM recommendations: Hamstring flexibility. *Int J Sports Med.* 2010;31:1-8.
- Hemmatinezhad MA, Afsharnezhad T, Nateghi N, Damirchi A. The relationship between limb length with classical and modified back saver sit-and-reach tests in student boys. *Int J Fitness.* 2009;5:69-78.
- Hoeger WWK, Hopkins DR, Button SP. Comparing the sit and reach with the modified sit and reach in measuring flexibility in adolescents. *Pediatric Exer Sci.* 1990;2:156-62.
- Ford P, McChesney J. Duration of maintained hamstring ROM following termination of three stretching protocols. *J Sports Rehabil.* 2007;16:18-27.
- Power K, Behm D, Cahill F, Carroll M, Young W. An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:1389-96.
- Dixon J, Keating JL. Variability in straight leg raise measurements. *Physiotherapy.* 2000;86:361-70.
- Patterson P, Wiksten DL, Ray L, Flanders C, Sanphy D. The validity and reliability of the back saver sit-and-reach test in middle school girls and boys. *Res Q Exerc Sport.* 1996;67:448-51.
- American College of Sports Medicine. Position Stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:992-1008.
- Schabert EJ, Hopkins WG, Hawley JA. Reproducibility of self-paced treadmill performance of trained endurance runners. *Int J Sports Med.* 1998;19:48-51.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;1:307-10.
- Vincent J. *Statistics in kinesiology.* Champaign (IL): Human Kinetics Books; 1994.



## Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2011;4(2):52-57

www.elsevier.es/ramd



Original

# El rendimiento deportivo en equipos de remo: el efecto Ringelmann

J.C. Caracuel Tubío<sup>a</sup>, J.C. Jaenes Sánchez<sup>b</sup> y J.M. de Marco Pérez<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Psicología. Universidad de Sevilla. Sevilla. España.

<sup>b</sup>Universidad Pablo de Olavide. Sevilla. España.

<sup>c</sup>Instituto de Enseñanza Secundaria Rodrigo Caro. Coria del Río. Sevilla. España.

### Historia del artículo:

Recibido el 15 de abril de 2010

Aceptado el 17 de diciembre de 2010

### Palabras clave:

Rendimiento.

Efecto Ringelmann.

Remo.

Psicología.

Motivación.

### Key words:

Performance.

Ringelmann effect.

Rowing.

Psychology.

Motivation.

## RESUMEN

**Objetivo.** Se investigó si se da en remo el efecto Ringelmann, consistente en que conforme aumenta el número de componentes de un grupo, la aportación individual al resultado final va disminuyendo progresivamente.

**Método.** La muestra la componen 44 remeros de edades comprendidas entre los 14 y los 17 años (media = 15,43; desviación estándar [DT] = 1,7); en su mayoría tenían 3 o más años de práctica y el 73,5% había conseguido al menos una tercera posición en campeonatos nacionales.

**Resultados.** En el 93,18% de los casos se produce un descenso sistemático en la condición del equipo respecto de la individual, con una media de metros recorridos en esta de 851,32 m, mientras que en la grupal fue de 837 m. ( $t = 7,028$ ,  $gl = 34$ ,  $p = 0,000$ ). La media de paladas en la condición individual fue superior (35,02) a la de grupo (34,79), aunque las diferencias entre ambas no resultaron significativas ( $t = 0,696$ ,  $gl = 42$ ,  $p = 0,245$ ). En cuanto a la percepción de esfuerzo (escala de Borg), los remeros puntuaban, de manera significativa, más bajo individualmente (6,03) que en grupo (7,29) ( $t = -4,769$ ,  $gl = 34$ ,  $p = 0,000$ ).

**Conclusiones.** Este estudio demuestra que el efecto Ringelmann se refleja en la variable distancia recorrida, en la que hay un descenso que no se explica por el número de paladas dadas. Además, la fatiga percibida individualmente es menor a pesar de haber recorrido más metros que en grupo.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

## ABSTRACT

### Sport performance in rowing teams: the Ringelmann effect

**Objective.** The purpose of this paper is to analyze if the Ringelmann effect, is affected by an increase in the number of members of a group diminishes progressively the individual performance in the end.

**Method.** The sample population was made up of 44 rowers aged between 14 and 17 years of age (average = 15,43; standard deviation [SD] = 1,7). The majority of the participants had 3 or more years' rowing practice and 73,5% of them had obtained at least a third position in a national championship.

**Results.** In 93,18% of the cases there is a systematic decrease in the team tests compared to individual tests; the average number of meters rowed individually was 851,32 m, while the groups' distance was 837,07 m. ( $t = 7,028$ ,  $gl = 34$ ,  $p = 0,000$ ). The average oar strokes for individuals was higher (35,02) than the oar strokes executed as a group (34,79), although the differences between the two averages were not significant ( $t = 0,696$ ,  $gl = 42$ ,  $p = 0,245$ ). Effort perception in the scale or Borg, the rowers scored significantly lower in the individual effort (6,03) than as a group (7,29) ( $t = -4,769$ ,  $gl = 34$ ,  $p = 0,000$ ).

**Conclusions.** This study proves that the Ringelmann effect is reflected on the distance covered, in which we find a decrease, not explained by the number of strokes. Furthermore, the fatigue perceived individually is lower in spite of having covered more meters than as a group.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### Correspondencia:

J.C. Caracuel Tubío.

Facultad de Psicología.

Universidad de Sevilla.

Camilo José Cela, s/n.

41018 Sevilla.

Correo electrónico: jccaracuel@us.es

## Introducción

El objetivo del presente estudio ha sido tratar de saber si el fenómeno conocido como efecto Ringelmann se da en remo. Este efecto, también llamado *pereza social*<sup>1</sup> u *holgazanería social*, pone de manifiesto que el esfuerzo de un grupo no es la suma de los esfuerzos máximos individuales y que, por el contrario, hay una tendencia a perder rendimiento cuanto mayor es su tamaño. Es especialmente importante en el remo, un deporte poco estudiado desde el punto de vista psicológico<sup>2,3</sup> en el que una gran parte de los botes llevan más de un competidor, lo que conllevaría pérdida de efectividad y, por tanto, de rendimiento en las competiciones.

Entre 1882 y 1887 (aunque el trabajo se publicó en 1913), Ringelmann comenzó a observar el comportamiento de individuos en tareas individuales y en grupo (de 3, de 6 y de 8) mientras tiraban de los extremos de una cuerda. Esperaba encontrar que la fuerza del trabajo grupal fuera igual a la suma de las fuerzas individuales; constató que la fuerza total de un grupo no se correspondía con la suma de las fuerzas individuales. Así, ocho personas no tiraban ocho veces más fuerte que si lo hacían individualmente, sino solo cuatro veces más<sup>4</sup>. Ringelmann halló que la fuerza media individual ejercida por los miembros de los grupos iba descendiendo progresivamente conforme aumentaba el tamaño, con una disminución que podía llegar hasta un 50% en grupos relativamente grandes. A esta circunstancia se la denominó *efecto Ringelmann*, definido como la disminución de la aportación media individual a medida que aumenta el tamaño del grupo<sup>5</sup>.

El remo es un deporte que tradicionalmente ha destacado por su imagen de trabajo en equipo. Exceptuando el *skiff* (1x), en el que el remero actúa en solitario, los demás botes lo componen dos, cuatro u ocho remeros. Según la clasificación de los deportes de Riera<sup>6</sup> se catalogaría como deporte de oposición, aunque sin contacto, y de cooperación, aspecto que necesariamente debe ser considerado en relación con el presente estudio. Por otro lado, la exigencia fisiológica en este deporte es muy elevada<sup>7-12</sup>; las altas tasas de lactato y el tiempo que estas han de mantenerse ponen de manifiesto su dureza. Desde el punto de vista teórico, se parte de las investigaciones de Ringelmann<sup>13</sup>, pero dado que su interés no estaba relacionado con la psicología del deporte, se revisaron algunas investigaciones<sup>14</sup> que se centran en las posibles causas que lo originan. Entre ellas, el modelo teórico de Steiner<sup>15</sup> sobre el rendimiento individual y en grupo desde una perspectiva social, aunque dentro del ámbito psicológico, y en la que pone de manifiesto que *los procesos de grupo erróneos podían reducir la productividad potencial*<sup>16</sup>. Algunos estudios con remeros<sup>17</sup>, pusieron de manifiesto, revisando los resultados de remo olímpico entre 1954 y 1964, que los botes de cuatro (4x) solo habían sido un 13% más rápidos que los de dos (2x) y los de ocho (8+) solo un 23% más que los de dos (2x); además encontraron este mismo efecto de pérdida en los relevos de natación<sup>18</sup>, donde también se corroboró que cuanto más grande es el grupo, más difícil es para los individuos contribuir con su esfuerzo al logro común.

Este trabajo presenta un estudio realizado con remeros que compiten en una máquina simuladora y específica (remoergómetro), y compara su rendimiento al realizar una prueba individual y otra en equipo. De acuerdo con Ringelmann (o.c.), se plantea la hipótesis de que el rendimiento sea inferior en el trabajo grupal. Subsidiariamente, este estudio pretende aportar a los entrenadores en particular y al remo en general, información útil para componer de forma más adecuada los botes de equipo, teniendo en cuenta aspectos psicológicos que influyen en el rendimiento deportivo, y que van encaminados a reducir al mínimo la pérdida de

efectividad de los botes largos, tratando de disminuir la llamada *pereza social*<sup>19</sup>. Este efecto<sup>20</sup> puede deberse a falta de motivación o a descoordinación, aunque también a que cuando se llega a un límite de fatiga, se produce un abandono en la intensidad de la tarea. Se entiende que tener en cuenta lo anterior podría mejorar la eficacia de los entrenadores<sup>21</sup>.

## Método

### Participantes

La muestra la componen 44 remeros de edades comprendidas entre los 14 y los 17 años ( $\bar{X}$  = 15,43 y desviación estándar [DT]=1,7), pertenecientes a clubes de remo de Sevilla y Málaga. De ellos, el 75% eran hombres y el 25% mujeres. La mayor parte de los participantes tenían 3 o más años de práctica ( $\bar{X}$  = 2,97 y DT = 2,15), y el 73,5% había obtenido al menos una tercera posición (medalla) en un Campeonato de España.

### Instrumentos y materiales

En este estudio se utilizó un remoergómetro (modelo Concept2, modelo E indoor rower, Morrisville, Estados Unidos) máquina simuladora de alta eficiencia y transferencia, que se usa habitualmente para entrenar fuera del agua y con la que se realizan los tests máximos como prueba específica. Dispone de una pantalla de litio PM3 que registra al momento los parámetros de tiempo total de la prueba, tiempo parcial cada 500 metros, metros recorridos y paladas por minuto y que informa al remero de su ejecución.

### Escala de Borg

Para autoevaluar el esfuerzo tras cada ejecución se utilizó la escala de 10 ítems de percepción de esfuerzo de Borg<sup>22</sup>, con la que los remeros se puntuaron en una escala de 0 (ausencia de esfuerzo) hasta 10 (muy, muy intenso). Se administró inmediatamente detrás de cada una de las pruebas. Suponía para el remero interpretar la dureza y la sensación de cansancio tras el esfuerzo, basado en las sensaciones que experimenta durante la tarea.

### Diseño experimental

Para el estudio se utilizó un diseño univariable bicondicional multivariable intrasujeto de medidas repetidas. Se trata de un diseño cuasi-experimental, dado que no se realiza una asignación aleatoria de los sujetos a las distintas condiciones experimentales sino que, al seguirse una estrategia longitudinal, todos los sujetos fueron medidos en las diferentes condiciones de la variable independiente. El objetivo del estudio fue evaluar la influencia de la VI «Ejecución» –con dos condiciones «individual» y «grupal»– sobre dos variables dependientes (VD): «rendimiento» y «esfuerzo percibido». Se utilizaron dos medidas de la variable rendimiento: a) el número de metros recorridos por cada remero en tres minutos y b) el número de paladas por minuto. Ambas medidas quedaban registradas en la memoria PMD.

### Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en la fase final de la temporada en la que se ultima la formación de botes para la participación en los Campeonatos

**Tabla 1**  
Distancia realizada (en metros) por cada sujeto en la prueba individual y de equipo

S	Indiv	Equipo	S	Indiv	Equipo	S	Indiv	Equipo	S	Indiv	Equipo
1	<b>738</b>	724	12	<b>762</b>	741	23	<b>863</b>	836	34	<b>901</b>	866
2	<b>917</b>	901	13	<b>886</b>	880	24	<b>908</b>	879	35	<b>834</b>	818
3	<b>931</b>	921	14	823	<b>844</b>	25	<b>887</b>	867	36	<b>895</b>	877
4	<b>942</b>	931	15	859	<b>871</b>	26	<b>887</b>	862	37	<b>872</b>	843
5	<b>879</b>	860	16	<b>912</b>	897	27	<b>877</b>	854	38	<b>819</b>	812
6	<b>756</b>	735	17	903	<b>910</b>	28	<b>866</b>	818	39	<b>751</b>	747
7	<b>772</b>	747	18	<b>854</b>	848	29	<b>922</b>	904	40	<b>757</b>	750
8	<b>858</b>	846	19	<b>867</b>	866	30	<b>951</b>	927	41	<b>774</b>	761
9	<b>748</b>	745	20	<b>881</b>	871	31	<b>923</b>	915	42	822	<b>826</b>
10	<b>812</b>	792	21	<b>895</b>	883	32	<b>868</b>	852	43	785	785
11	<b>783</b>	734	22	<b>811</b>	794	33	<b>946</b>	942	44	<b>761</b>	749

En negrita se indica la condición en la que realizó más metros.  
Indiv: condición individual; S: sujeto.

de España, competición que se realizaría tan solo un mes más tarde. La máxima implicación en el esfuerzo y motivación del remero se consiguió gracias a la colaboración de los entrenadores, los cuales explicaron –en el inicio de la reunión– que se trataba de pruebas decisivas para la formación de botes con vistas al próximo campeonato nacional. Con ello, se intentó garantizar que los remeros se implicarían al máximo, al indicarles que se trataba de una prueba que ayudaba a clasificarse para el objetivo de la temporada. Para evitar en lo posible variables extrañas, las pruebas se llevaron a cabo en las propias instalaciones de los clubes participantes: Club Náutico y Real Club Labradores –ambos de Sevilla– y Club Marítimo de Málaga.

En cada hangar se dispusieron 4 remoergómetros colocados en batería, con una separación mínima de 2 metros para permitir la ventilación del tambor de freno. Asimismo, se habilitó una zona donde se situaron colchonetas para que los remeros pudieran descansar entre las dos pruebas que habían de realizar. En ambos casos, se reunía a los participantes en el hangar donde se iban a realizar las pruebas; el entrenador presentó al experimentador y se explicó el protocolo de la prueba (dos series de 3 min de duración ejecutadas al máximo de sus posibilidades, con un descanso entre ambas de 40 a 60 minutos), tiempo suficiente para garantizar la recuperación tras el esfuerzo.

#### Condición 1: Prueba individual de 3 minutos

A continuación se pidió a los remeros que realizaran la primera prueba, que se efectuaba bajo la condición de individual con el descanso ya indicado. El orden en el que hacían la prueba individual no es significativo, ya que esta se valoró individualmente, y con respecto a la máquina, todos los parámetros posibles son iguales. En esta prueba, el remero tiene el marcador PM3 de tal forma que puede ver la información sobre los metros recorridos, la velocidad expresada en metros por cada 500 metros recorridos, el número de paladas y el tiempo total transcurrido. La escala de Borg la cumplimentaban nada más acabar la prueba y a continuación, pasaban a la zona de descanso donde esperaban la segunda prueba (equipos).

#### Condición 2: Prueba de grupo de 3 minutos. Formación de los equipos de cuatro competidores

Una vez todos habían finalizado la prueba individual, se reunió a los participantes para explicarles el protocolo de la segunda prueba de condición por equipos de cuatro miembros. Para lograr una mayor igualdad entre los equipos, se tomaron los resultados de las pruebas individuales

y se repartió a los remeros de tal manera que los metros totales fueran lo más parecidos posible, en un intento de minimizar *a priori* las diferencias entre equipos. En esta condición no recibirían una información completa sobre su ejecución, solo se les “cantaría” el tiempo de ejecución cada 30 segundos. No se les informaba de los metros recorridos en dicha condición de equipo, por lo que no sabían su aportación individual a la tarea grupal. Al final, se sumaron los metros recorridos por cada miembro del grupo, para obtener una puntuación única de equipo que permitía comparar los resultados de todos para establecer una clasificación y dar a conocer el equipo ganador. Una vez finalizada la prueba, cada uno de ellos completó de nuevo la escala de Borg.

#### Análisis estadístico

Se realizaron estadísticos descriptivos para obtener porcentajes y para los datos de diferencias de medias, así como una prueba t para muestras relacionadas mediante el paquete estadístico SPSS+17.0.

#### Resultados

Con respecto a la distancia recorrida (VD) se pueden observar en la tabla 1 los resultados de todos y cada uno de los sujetos. De modo general, destacamos que en casi todos los casos (41 de 44 [93,18%]) se produce un descenso sistemático en la prueba por equipos respecto de la individual; en algunos sucedió lo contrario (sujetos 14, 15, 17 y 42) y solo el sujeto 43 recorrió los mismos metros en ambas condiciones. Como puede observarse en la condición individual, la media de metros recorridos fue de 851,32 metros, mientras que en la grupal fue de 837,07 metros ( $t = 7,028$ ,  $gl = 34$ ,  $p = 0,000$ ).

En la tabla 2, puede verse como el número de paladas –que, a su vez, incide directa, aunque no exclusivamente en el resultado (metros recorridos)– varía de forma no significativa en función de la condición en que se efectúa la prueba. Concretamente, las paladas en la condición de equipo fueron superiores a la individual en 15 remeros (34%); fue inferior en 17 (38,65%) y se mantuvo igual en 12 (27,25%). Aunque la media de paladas en la condición individual fue superior (35,02) al número de paladas en la ejecución en grupo (34,79), las diferencias entre ambas medias no resultaron significativas ( $t = 0,696$ ,  $gl = 42$ ,  $p = 0,245$ ).

En la tabla 3 puede verse como hay una disminución sistemática en los valores de todos los equipos (11 en total) de la primera prueba, donde se indican los metros recorridos por cada uno de los miembros del gru-

**Tabla 2**  
Paladas por minuto dadas por cada sujeto en la prueba individual y de equipo

S	Indiv	Equipo	S	Indiv	Equipo	S	Indiv	Equipo	S	Indiv	Equipo
1	38	34	12	32	33	23	34	33	34	35	34
2	37	37	13	35	37	24	35	34	35	37	37
3	36	38	14	33	35	25	36	33	36	37	36
4	37	38	15	38	42	26	34	29	37	35	36
5	37	35	16	37	38	27	38	37	38	32	32
6	38	37	17	32	32	28	34	26	39	33	32
7	34	37	18	35	34	29	39	35	40	35	36
8	37	37	19	34	36	30	39	38	41	29	29
9	36	36	20	34	34	31	36	36	42	37	37
10	35	36	21	37	35	32	34	36	43	32	33
11	34	34	22	28	29	33	34	36	44	34	34

Indiv: condición individual; S: sujeto.

**Tabla 3**  
Comparativa de resultados en metros recorridos en las pruebas individuales y en equipo

Equipos	Sujeto	Individual	Equipo	Media individual	Media del equipo
1	1	738	724	848,75	830,5
	22	811	794		
	36	895	877		
2	30	951	927	850,25	826
	9	748	745		
	10	812	734		
	21	895	883		
3	33	951	942	849,75	838
	39	751	747		
	38	819	812		
	26	887	862		
4	4	942	931	849	837,25
	6	756	735		
	42	822	826		
	25	887	867		
5	3	931	921	847	844,5
	40	757	750		
	14	823	844		
	13	886	880		
6	29	922	904	849,75	838,25
	44	761	749		
	35	834	818		
	20	881	871		
7	31	923	915	853	837,5
	12	762	741		
	5	879	860		
	18	854	848		
8	2	917	901	854,75	836
	7	772	747		
	8	858	846		
	27	877	854		
9	16	912	897	853,25	838,5
	41	774	761		
	15	859	871		
	37	872	843		
10	24	908	879	854,25	833
	11	783	734		
	23	863	836		
	32	868	852		
11	17	903	910	854,75	833,75
	43	785	785		
	28	866	818		
	19	867	866		
	34	901	866		

po, a la segunda en la que se realizó el esfuerzo de tres minutos en condición de equipo.

Como puede verse en la tabla 4, con respecto a la VD de percepción de la intensidad del esfuerzo realizado (sensación de fatiga), evaluada con la escala de Borg, si bien no hay datos del total de los sujetos debido a problemas en el registro, de entre los 35 que la cumplimentaron, 26

sujetos (74,30%) manifiestan sentirse más cansados tras la prueba de equipo que tras la individual; solo 4 (11,40%) indican lo contrario y 5 remeros (14,30%) puntuaron igual en ambas condiciones. La media de las puntuaciones de los competidores en la escala de Borg fue significativamente inferior (menos cansancio) cuando la ejecución fue individual (6,03) que en la de grupo (7,29) ( $t = -4,769$ ,  $gl = 34$ ,  $p = 0,000$ ).

Aunque no constituyó un objetivo específicamente planteado en este estudio, como puede verse en la tabla 5, resultan interesantes los resultados de las correlaciones que existen entre la ejecución individual y grupal de los sujetos. Así, en cuanto a las puntuaciones obtenidas en la escala de Borg, la correlación de las puntuaciones en las dos condiciones experimentales fue de 0,621, resultado estadísticamente significativo ( $p = 0,000$ ), lo cual nos informa de que el tipo de prueba, no solo influyó aumentando la puntuación obtenida por los sujetos cuando la prueba era en equipo, sino que este efecto fue consistente en todos los individuos del grupo.

El mismo efecto se puede observar respecto al resto de medidas de la VD. En cuanto al número de metros recorridos la correlación fue de 0,977, que resultó estadísticamente significativa ( $p = 0,000$ ), si bien en este caso la diferencia es a favor de la ejecución individual. En relación con el número de paladas, y aunque no se apreciaron diferencias significativas en las medias de los grupos, la correlación entre pares de puntuaciones fue de 0,678, resultado estadísticamente significativo ( $p = 0,000$ ).

## Discusión

Los resultados del estudio confirman parcialmente la existencia del efecto Ringelmann en remo; es decir, el rendimiento en esfuerzos máximos es inferior cuando se realiza en grupo, tal y como ya encontraron el propio Ringelmann e Inghan et al en sus estudios y concretamente, con grupos de cuatro individuos y estaría de acuerdo por lo expresado por Steiner, en el sentido de que la habilidad individual, si bien es un recurso importante, no es el único. Así y para la VD «metros recorridos», el 93,18% recorren más metros en ejecuciones individuales que en las de equipos de cuatro. Conviene destacar que las pérdidas en metros que se han visto en ejecuciones de 3 minutos, si se transfirieran al agua y dado que se compite sobre 2.000 metros, podrían suponer perder de tres a cuatro botes en distancia. Con respecto a la otra VD analizada, «n.º de paladas/minuto», no se hallan diferencias significativas, con un número de paladas promedio para la prueba individual prácticamente igual que para la de equipo, (35,02 en individual y 34,79 en equipos); esto se puede deber a que en grupo, la fuerza de palada es menor.

**Tabla 4**  
Esfuerzo percibido por cada sujeto, según la escala de Borg, tras la prueba individual y la de equipo

S	Individual	Equipo	S	Individual	Equipo	S	Individual	Equipo	S	Individual	Equipo
1	7	9	12			23	7	9	34	8	9
2			13	3	7	24	9	10	35	7	10
3			14	3	6	25	3	5	36	8	10
4			15	3	5	26	7	5	37	7	7
5			16	4	7	27	7	5	38	5	7
6			17	5	6	28	4	3	39	6	7
7	8	9	18	4	8	29	8	9	40	7	7
8			19	8	8	30	7	8	41	5	7
9			20	3	3	31	10	10	42	7	9
10			21	5	4	32	5	7	43	5	7
11	5	9	22	5	7	33	8	9	44	8	7

Los espacios vacíos corresponden a remeros que no cumplimentaron el formulario de Borg en alguna de las condiciones.  
S: sujetos.

**Tabla 5**  
Correlaciones de muestras relacionadas

	Variables dependientes	N	Correlación	Sig.
Par 1	Escala de Borg individual – Borg equipo	35	0,675	0,000
Par 2	Metros individual – Metros equipo	44	0,977	0,000
Par 3	Paladas individual – Paladas equipo	43	0,678	0,000

Los resultados de la VD «fatiga percibida» indican que, en la escala de Borg, el 74,30% de los remeros puntuaban más alto, a pesar de que habían recorrido menos metros que en la condición individual, lo que hace suponer que debían de haber realizado un menor esfuerzo real. Según estos datos, aparentemente se esfuerzan más en la prueba de equipo, lo que supuestamente debería traducirse en una mayor cantidad de metros recorridos; sin embargo, tal y como se indicó, a pesar de una recuperación suficiente (entre 40 y 60 minutos) no lo hacían. No parece que la disminución del rendimiento se deba a factores fisiológicos, sino más bien podría apuntar a factores psicológicos como indica Martín<sup>23</sup>. Hemos de tener en cuenta que para la realización de las pruebas se manejó información oral enmascaradora respecto a la finalidad de los controles físicos, presentándolos como pruebas de selección para los cercanos campeonatos nacionales; con ello se intentaba lograr que los remeros se implicaran todo lo posible, que los deportistas empleasen el 100% de su potencial, tanto en la serie individual como en la de grupo. Se considera de gran importancia el control de este matiz, pues a nuestro entender, la validez de los resultados dependía de la importancia que el remero otorgase a tales controles.

El estudio de esta disminución del rendimiento individual en la prueba de equipo pasa obligatoriamente por discriminar y separar dos posibles razones por las cuales puede darse un descenso del rendimiento. De acuerdo con la literatura arriba mencionada, podría ser por falta de motivación o por fallos de coordinación relativos a la aplicación de fuerzas; igualmente se podría explicar por lo manifestado por Seta<sup>24</sup>, en el sentido de que puede deberse al efecto de los sujetos con los que se empareja. Sin embargo, esto estaría en desacuerdo con lo hallado por González-Boto et al<sup>25</sup> en un trabajo con una tarea de tiro a canasta, donde en los más expertos –nuestros remeros son expertos–, la presencia de otros aumentaba su efectividad. Aunque se podría intuir que la información de que la prueba en remoergómetro serviría para entrar en el equipo nacional, podría haber provocado emociones negativas que influyeran en el rendimiento en forma de pérdidas, como indican estos últimos

autores, dado que si los sujetos toman la tarea como una competición, puede aumentarse la activación y facilitar la comisión de errores o en nuestro caso, la pérdida de eficacia. O la idea más plausible, de que los individuos pueden disminuir su rendimiento en grupo si consideran que no se va a llevar a cabo una evaluación de su ejecución individual dentro del mismo. Así, si asumimos que el origen no es de tipo biomecánico o de coordinación –efecto anulado por el uso de la misma máquina que permite registrar de manera fiable la información necesaria para ejecutar correctamente la tarea propuesta–, parece claro que lo que limita el rendimiento está relacionado sobre todo con la creencia de que el rendimiento individual no se evalúa cuando se trabaja en grupo. De hecho, durante el procedimiento se indicó a los participantes que los resultados individuales de la primera prueba serían públicos, pero el resultado particular de cada remero en la prueba grupal sería secreto. Esto abundaría en la tesis de que se puede deber a la falta de implicación, dado que el remero sabía que no estaba siendo individualmente controlado.

En conclusión, podemos afirmar que este trabajo confirma, en parte, la ocurrencia del efecto Ringelmann en remo, corroborando trabajos primigenios (Ringelmann) y posteriores (Ingham et al). El rendimiento (medido en metros recorridos, pero no así en paladas) es menor en grupo que individualmente. En cambio, los deportistas analizados manifiestan sentirse más fatigados tras la ejecución en grupo que tras la individual, cuando en realidad el esfuerzo ha debido de ser mayor en esta última condición si atendemos al rendimiento, como se acaba de exponer.

Así pues, probablemente nuestro estudio ha mostrado que, en exigencias máximas de rendimiento se confirma la existencia del efecto Ringelmann y según lo anterior, y para tratar de evitar este efecto, se podrían efectuar ciertas recomendaciones a los entrenadores, fundamentalmente en la línea de hacer mensurable el resultado de la aportación individual de cada uno cuando reman en equipo, y que cada remero sea consciente desde el principio de lo importante que es su aportación individual en los botes largos. En este punto, quizás sean importantes algunas de las propuestas de Catwright y Zader<sup>26</sup> quienes estudiaron los procesos motivacionales en los equipos deportivos y proponen el deseo de éxito del grupo (DEG) como un elemento esencial para su motivación. El DEG motiva a los elementos del grupo a esforzarse por lograr objetivos colectivos exigentes, pero realistas. También se entiende como un factor importante para la mejora, la valoración y el reconocimiento de las aportaciones individuales en beneficio del grupo, así como el reforzamiento individual bien orientado, que mejora el resultado del equipo.

Como propuesta para el futuro, quizás fuera interesante ampliar este tipo de estudios a remeros de mayor edad y experiencia, hacer mediciones en equipos de ocho remeros para ver la tendencia de las pérdidas, si

estas se dan, y hacer las mediciones en el propio bote –si fuera posible–, en condiciones de entrenamiento y competición en diferentes botes (*skull* o punta). Igualmente se podrían haber diseñado situaciones experimentales para ver las pérdidas en 8+, pero esto representaba introducir la figura del timonel, que hubiera significado una variable difícil de valorar en las mismas condiciones que los remeros, ya que el timonel no rema. En ningún caso, se hizo una prueba con seis remeros para ver si las posibles pérdidas estaban en la línea de lo encontrado por otros autores como se menciona arriba, dado que en remo no hay botes de seis miembros.

## Bibliografía

1. Latane B. The psychology of impact. *American Psychologist*. 1981;36:343-56.
2. Stroope S. Preparation for success: a rower's guide to mental training. Cambridge: The Mental Edge; 1994.
3. Jaenes JC. Entrenamiento psicológico aplicado al remo de competición. En: Dosil J, editor. *El Psicólogo del Deporte. Asesoramiento e intervención*. Madrid: Síntesis; 2002. pp. 183-205.
4. Blanco J. Actuación individual y actuación grupal. En: González JL, Gil C y Martín G, editores. *Manual de Prácticas de Psicología Deportiva*. Madrid: Biblioteca Nueva; 2001. pp. 243-9.
5. González JL. *Psicología del Deporte*. Madrid: Biblioteca Nueva; 1997.
6. Riera J. *Introducción a la Psicología del Deporte*. Barcelona: Martínez Roca; 1985.
7. Paduda J. *The art of sculling*. Maine: McGraw Hill; 1992.
8. Molina C. *Remo de competición*. Sevilla: Wanceullen; 1997.
9. Pearson R, Ungpakorn G, Harrison GA. Catecholamine and cortisol levels in Oxford College rowers. *Br J Sports Med*. 1997;29:174-7.
10. Nilsen T, Müller A, Bermúdez M, Boix X. *Manual de remo olímpico para entrenadores de clubs*. Barcelona: Federación Española de Remo; 1999.
11. Boyne DJ. *Essential sculling*. Canada: The Lyons Press; 2000.
12. Mc Arthur J. *High performance, rowing*. Ilkley: Crowood; 2004.
13. Ringelmann M. Recherches sur les moteurs animés: Travail de l'homme. *Annales de l'Institut Nationale Agronomique*. 1913;2:1-40.
14. Ingham AG, Levinger G, Graves J, Peckam V. The Ringelmann effect: Studies of group size and group performance. *J Exp Social Psy*. 1974;23:371-84.
15. Steiner I D. *Group process and productivity*. Nueva York: Academic Press; 1972.
16. Weinberg RS, Gould D. *Fundamentos de Psicología del Deporte y del Ejercicio*. Barcelona: Ariel; 1996.
17. Latane B, Williams K, Harkins S. Many hands make light the work: The causes and consequences of social loafing. *J Personality Soc Psy*. 1979;37:823-32.
18. Williams B, Harkins S, Latane B. Identifiability and social loafing: Two cheering experiments. *J Personality Soc Psy*. 1981;40:303-11.
19. Latane B. The psychology of social impact. *American Psychologist*. 1981;36:343-56.
20. Ingham AG, Levinger G, Graves J, Peckam V. The Ringelmann effect: Studies of group size and group performance. *J Exp Social Psy*. 1974;23:371-84.
21. Cratty BJ. *Psychology in Contemporary Sport*. Englewood Cliffs: Prentice Hall; 1989.
22. Arruza J, Alzate R, Valencia J. Esfuerzo físico percibido y frecuencia cardíaca: el control de la intensidad de los esfuerzos en el entrenamiento de judo. *Rev Española Educación Física y Deportes*. 1996;9:29-40.
23. Steiner ID. *Group process and productivity*. Nueva York: Academic Press; 1972.
24. Seta JJ. The impact of comparison processes on coactors task performance. *J Personality Soc Psy*. 1982;42:281-91.
25. González-Boto R, Salguero E, Tuero C, Márquez S. El efecto audiencia y el efecto coactuación en lanzamiento a canasta. *Motricidad*. 2006;16:31-8.
26. Catwright D, Zander A. *Group dynamics: Research and theory*. Nueva York: Harper y Row; 1968.



Original

ARTÍCULO EN INGLÉS

## Heart rate variability behavior at different stages of practice in Zen meditation: a study of the system dynamics using multiresolution analysis

C. Peressutti<sup>a</sup>, J.M. Martín-González<sup>b</sup> and J.M. García-Manso<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Educación Física. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Canary Islands. Spain.

<sup>b</sup>Departamento de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Canary Islands. Spain.

### History of the article:

Received September 17, 2010

Accepted January 8, 2011

### Key words:

Heart rate variability.

Zen meditation.

Maximal overlap discrete wavelet transform.

Wavelet variance.

Principal components analysis.

### Palabras clave:

Variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Meditación zen.

Transformada wavelet discreta de máximo solapamiento.

Varianza wavelet.

Análisis de componentes principales.

### ABSTRACT

The dynamic interactions between the sympathetic and parasympathetic branches of the autonomic nervous system (ANS) are responsible for the oscillations in heart rate known as heart rate variability (HRV). Thus, the importance of HRV as an indirect measure of the autonomic activity is widely known. Meditation is perhaps the best practice to investigate the intrinsic properties of the ANS, since it involves a state of complete physical immobility and absence of voluntary efforts. In this study we analyzed HRV during Zen meditation in 13 practitioners with varying degrees of expertise. Given that HRV derives from a set of rhythmic processes operating at different time-scales, a multiresolution analysis was performed. For each time series the wavelet variance was estimated at seven discrete scales using a modified version of the discrete wavelet transform, the maximal overlap discrete wavelet transform (MODWT), and we performed a principal components analysis on this data set. We found evidences that different stages in the practice of Zen meditation can be characterized by specific patterns of cardiac variability that tend to evolve to a «low cost mode of functioning», defined by the appearance of resonance phenomena between cardiovascular rhythms, that probably favors the meditation practice.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### RESUMEN

#### Comportamiento de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en diferentes etapas de la práctica en meditación zen: un estudio de las dinámicas del sistema usando análisis multirresolución

Las interacciones dinámicas entre las ramas simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo (SNA) son responsables de las oscilaciones en la frecuencia cardíaca conocidas como variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). Por lo tanto, la importancia de la VFC como medida indirecta de la actividad autonómica es ampliamente conocida. La meditación es quizás la mejor práctica para investigar las propiedades intrínsecas del SNA, ya que implica un estado de completa inmovilidad física y ausencia de esfuerzos voluntarios. En este estudio se analizó el comportamiento de la VFC durante la meditación zen en 13 practicantes con diferentes niveles de práctica. Dado que la VFC se deriva de un conjunto de procesos rítmicos que operan a diferentes escalas de tiempo, se llevó a cabo un análisis multirresolución. Para cada serie temporal se estimó la varianza wavelet en siete escalas distintas utilizando una versión modificada de la transformada wavelet discreta, la transformada wavelet discreta de máximo solapamiento (MODWT), y se realizó un análisis de componentes principales de este conjunto de datos. Se han encontrado evidencias de que las diferentes etapas en la práctica de la meditación zen pueden ser caracterizadas por patrones específicos de variabilidad cardíaca que tienden a evolucionar a un modo de «funcionamiento de bajo coste» definido por la aparición de fenómenos de resonancia entre los ritmos cardiovasculares.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### Correspondence:

C. Peressutti.

Departamento de Educación Física.

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

35017 Canary Islands. Spain.

E-mail: caroldailha@gmail.com (C. Peressutti).



## Introduction

The study of heart rate variability (HRV) offers a unique view, a window into the complex mind-body connection that exists behind the regulation of life processes, such as blood circulation and breathing. However, the intrinsic properties of the complex autonomic regulation of cardiovascular function are difficult to measure, since, even at rest, it may be affected by emotions and mental loading.

The Soto Zen Buddhist meditation has a targeted approach to the state known as *mindfulness*. Differently than simple rest or sleeping, during mindfulness meditation the mental contents are observed with emotional detachment, creating a delicate state of consciousness that involves both an extraordinarily attention and deep relaxation. This state is characterized by a sustained awareness of the present moment<sup>1,2</sup>. Everything arising in the field of perception is contemplated, yet, nothing is preselected, neither analyzed.

An inconsistency in the available studies on meditation lies in what the authors conceive as «experienced practitioners». Some authors refer to experienced meditators subjects with five years of experience, when the *psychophysiological* response of a subject with 20 years of practice may be essentially different. Bogart<sup>3</sup> alerted that «we must note that different effects may be associated with different stages of meditative practice». Therefore, for this work we recruited subjects with varying degrees of expertise.

## Methods

### Subjects

A total of 37 time series from 13 Zen meditators were analyzed in this study. The constancy and the minimum period of five years of Zen practice were the first criterion for inclusion in the sample. Five years of practice was required in order to select only mindfulness meditators (novice Zen practitioners usually focus the attention on the breath, which often induce voluntary changes in the natural breathing pattern). Exclusion criteria included the presence of cardiovascular disease or any other disease that affect the autonomic balance and the use of any drugs that might influence the results. Participants were between 37 and 50 years of age and between 5 and 20 years of experience in meditation (5 females and 8 males). An informed written consent was obtained from each subject after explaining the experimental procedure. This study was conducted according to guidelines of the Declaration of Helsinki adopted by the World Medical Association for research involving human subjects.

### Data collection

Data were collected 2-4 times in each subject in the meditation rooms of *Luz Serena Temple* (Valencia, Spain) and of *Dojo Zanmai San* (Tenerife, Spain), which follow the same tradition and are systemically integrated. Subjects were asked to withhold food during the two hours that preceded the recording of data and not to take any stimulant drink in the prior 24 hours.

RR intervals (the time-interval between each heart beat) were measured using the heart rate monitor *Polar S810i* (Polar Electro Oy, Kempele, Finland). After placing the device, participants were instructed to seat quietly for 10 minutes, in the position they customarily adopt to meditate (cross-legged on a cushion, with the hands held together in

front of the navel and the eyes opened) for baseline measurements; then, without moving, they start meditating for 30 minutes. A chime signalled the beginning and end of meditation.

### Data management

Data obtained by the Polar S810i, with a sampling rate of 1,000 Hz, were transferred to the *Polar Precision Performance Software* by means of an interface with an infrared device for signal emission. Data were then edited using *UltraEdit* text editor (IDM Computer Solutions, USA) and furthered processed using specific programs written in our laboratory in the platform of MATLAB (The Math Works, USA). The measurement errors and ectopic heart beats were visually checked and eliminated manually. The series were interpolated linearly and normalized by subtracting the mean and dividing by the standard deviation.

### Data analysis

#### Multiresolution analysis

In the discrete wavelet transform (DWT) the data sequence is filtered to obtain the wavelet coefficients at different levels: the signal is decomposed into both approximation ( $cA_j$ ) and detail ( $cD_j$ ) coefficients by the use of two quadrature mirror filters. Thus, the DWT analysis can be seen as a filtering operation where the high frequency (highpass) component appears in the detail coefficients  $cD_j$  and the low frequency (lowpass) component in the approximation coefficients  $cA_j$ . The detail coefficients are not further decomposed, and at each scale, the detail signal is stored and the decomposition continues filtering the approximate signal which will be taken as the input signal for the next scale. At each decomposition or reference level  $J$ , the approximation coefficients  $cA_j$  and detailed coefficients  $cD_1, cD_2, \dots, cD_j$  are obtained, and we can reconstruct the approximation signal  $A_j(t)$  and the details signal  $D_j(t)$ ,  $j = 1 \dots J$ . Therefore, the signal  $f(t)$  may be expressed as the sum of a smooth part plus details,

$$f(t) = A_j(t) + \sum_{j=1}^J D_j(t)$$

Where each details  $D_j$  is associated with changes at physical scale of  $s_j = 2^{j-1}$ ;  $j = 1 \dots J$  and the approximations  $A_j$  represent variations over scales  $2^j$  and higher<sup>4</sup>.

The properties of a time series at different scales can be summarized by the discrete wavelet variance, which decomposes the variance of a time series in a scale-by-scale basis. However, the number of wavelet coefficients at each scale, obtained by the DWT, decreases by a factor of 2 for each increasing level of the transform, limiting the ability to carry out statistical analyses on the coefficients. This limitation can be overcome if the downsampling in the DWT is avoided by using the maximal overlap discrete wavelet transform (MODWT). Therefore, the MODWT yields an estimator of the variance of the wavelet coefficients for each scale that is statistically more efficient than the corresponding estimator based on the DWT<sup>4</sup>.

The wavelet variance over scales  $s_j = 2^{j-1}$ ;  $j = 1 \dots J$  constitutes a wavelet spectrum, with large values of  $j$  corresponding to low frequencies and small values of  $j$  corresponding to high frequencies. Equivalent to the spectral density function that decomposes variance across frequencies, the discrete wavelet variance decomposes variance across scales.

In this paper the wavelet variance was estimated from the level  $J = 6$  MODWT using the Daubechies (*db6*) wavelet filter<sup>5</sup>. For a better

interpretation of the results we defined the *scale index*, where: the scale corresponding to the approximation coefficient  $2^{j+1}$  is the scale index 1;  $2^j$ , the index 2; and then successively till  $2^1$ , which is the scale index  $J+1$ . Then, each scale index was compared to the standard frequency intervals defined by the Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology<sup>6</sup>. Thus, for  $J = 6$ , the wavelet coefficients at levels 2 and 4 (scale index 7 and 6) correspond approximately to the HF range (0.15–0.4 Hz); wavelet coefficients at levels 8 and 16 (scale index 5 and 4) correspond to the LF range (0.04–0.15 Hz); and, finally, wavelet coefficients at levels 32, 64 and 128 (scale index 3, 2 and 1) correspond to the VLF range ( $\leq 0.04$  Hz). The frequency intervals determined by the geometric mean between each two scales may vary depending on the sample interval of each time series.

#### Principal components analysis

We used an exploratory principal component analysis (PCA) (MATLAB Statistics Toolbox, The Math Works, USA) to analyze the underlying structure of the data, by means of its discrete wavelet variance distribution. The PCA identifies the largest variations in the data through a smaller number of latent variables or principal components (PCs), which present the so called *factor loadings* or the correlation coefficients with the original variables. The first PC accounts for as much of the variability in the data as possible, and each succeeding component accounts for as much of the remaining variability as possible. A low dimensional representation of a dataset is obtained by projecting the data on a small number of PCs. Each data point in the coordinate system defined by the PCs corresponds to one sample or observation and can be reconstructed by a suitable linear combination (*scores*) of the PCs.

The PCA was conducted on the correlation matrix of HRV indices defined by the scales indexes. We extracted the normalized wavelet variance in each scale using the MODWT for all HRV time series collected during meditation.

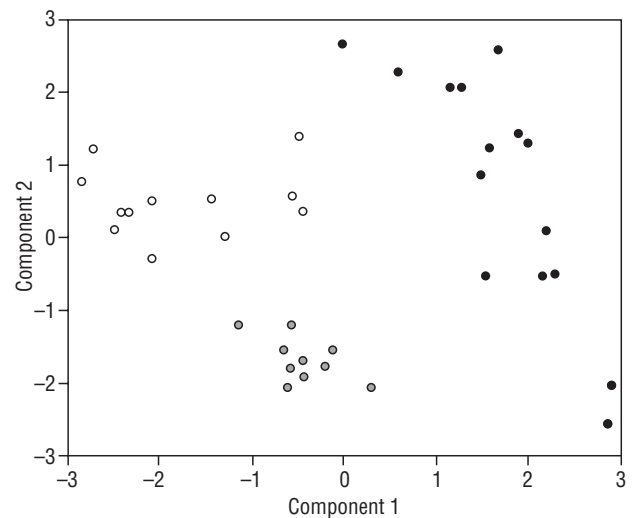
## Results

The first important outcome reveals that the rhythmic pattern of cardiac oscillations presented by each subject during meditation is largely reproducible in all sessions recorded. Nevertheless, as expected, we found different results among subjects, though the PCA clearly distinguished the less experienced practitioners from the others, and also revealed subgroups within practitioners with longer time-practice. The dataset distribution when using a scatter plot of the first two PCs reveals three apparent cluster structures (fig. 1). Note that the different observations of each subject were arranged within the same cluster.

Table 1 shows the correlation coefficients (loadings) for the first two PCs corresponding to the scale indexes (original variables) 1-7 and the *explained variance* (the proportion to which each PC accounts for the variability in the data).

As shown, the first PC is marked by high positive loading on scale 4, corresponding to LF cardiac oscillations, and negative loadings on scales 1, 2, 6 and 7, corresponding to VLF and HF oscillations. The appearance of a unique high positive loading in the PC1 indicates that this component separates samples which present the variance centered in only one frequency range (LF).

The variables with lower coefficients in the first PC (3 and 5) in turn have high loadings in the PC2; the scale 3 with negative sign and the scale 5 with positive sign. As it can be appreciated in figure 1, all samples

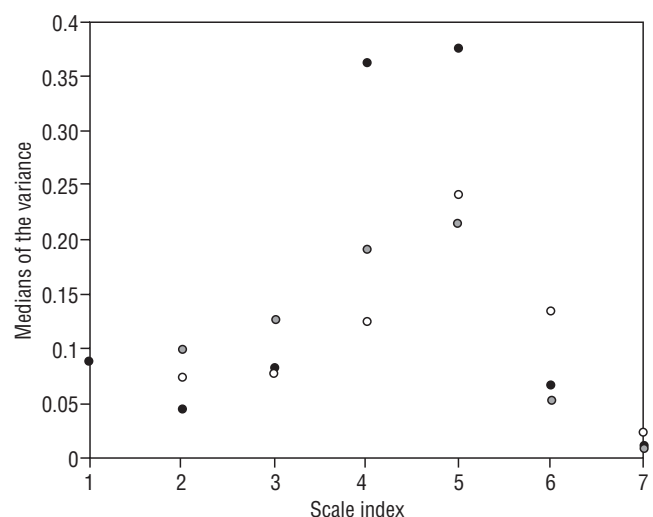


**Fig. 1.** Distribution of data over the two-dimensional space defined by the first two PCs, which account for more than 70% of the overall variance. The samples in black and grey correspond to meditators with more than 10 years of practice, including five Zen instructors and a Zen master. Samples without color correspond to meditators who have between 5 and 10 years of practice.

**Table 1**

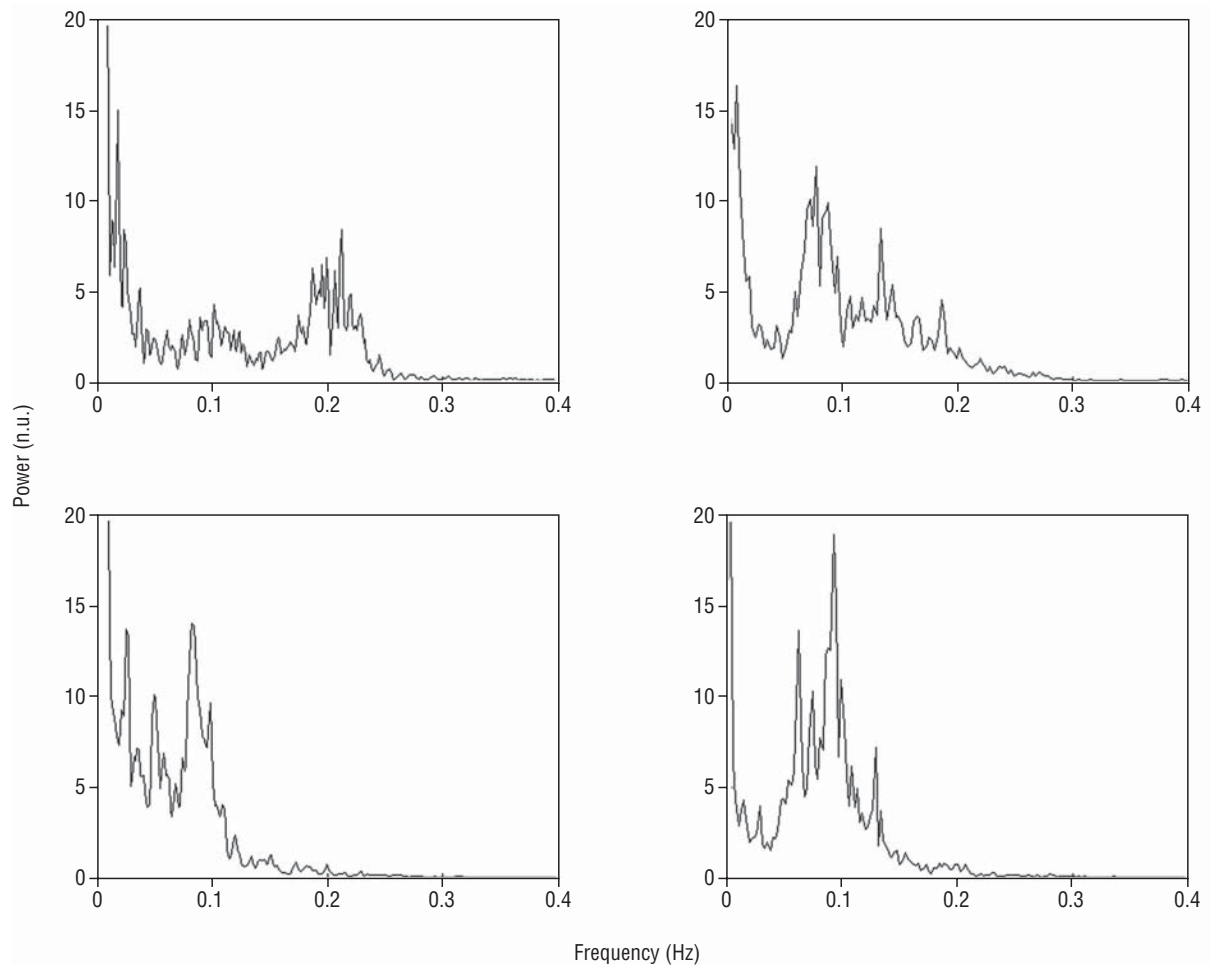
Correlation coefficients with the variables 1-7 for the first two PCs and the explained variance

Variables	PC1	PC2
1	-0.4271	-0.2683
2	-0.3851	-0.3783
3	0.0849	-0.5549
4	0.5284	-0.1360
5	0.1635	0.5490
6	-0.4398	0.3426
7	-0.4033	0.1993
Explained variance	<b>40.2276</b>	<b>31.2949</b>



**Fig. 2.** The medians of the variance in each scale for the three clusters identified in figure 1.

represented with grey color share a common pattern of cardiac oscillations characterized by great variability in the scale 3, which corresponds to a higher range of the VLF band. Other samples represented with black color have, in this case, high positive scores in the second PC. These samples also seem to present the variance centered in a specific



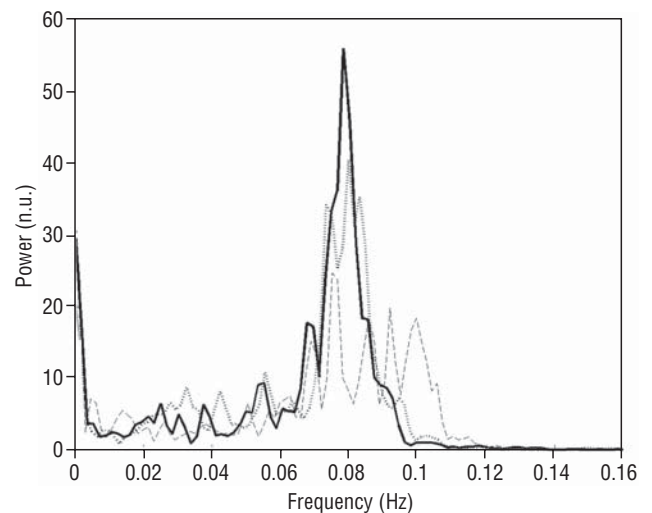
**Fig. 3.** Spectral analysis (Welch's periodogram with a Hamming window of length 512) of RR interval time series, in normalized units, corresponding to practitioners with 5 (top left), 10 (top right), 14 (bottom left) and 19 (bottom right) years of meditation practice.

frequency interval, since the unique high and positive loadings in the PC2 correspond to the neighboring scales 5 (higher loading) and 6.

Figure 2 shows the medians of the variance in each scale for the three clusters. Note the variance centered in the LF range (scales 4 and 5) for the samples in black. It is clear that the more experienced practitioners (black and grey) decrease variability in the HF range (scales 6 and 7), though not all of them share the pattern of predominant LF oscillations.

Figure 3 shows the spectral analysis of RR interval time series corresponding to practitioners with different time-practice. It seems that the HF oscillations gradually shifts to the lower frequency ranges with the pass of the years of meditation.

Figure 4 shows the spectral analysis of RR interval time series corresponding to three meditations recorded of the Zen master. The spectral power is narrowly distributed around 0.08 Hz in two of them, though all meditations «produce» almost exclusively LF oscillations.



**Fig. 4.** Spectral analysis (Welch's periodogram with a Hamming window of length 512) of RR interval time series, in normalized units, corresponding to three meditations of the Zen master.

## Discussion

A strong coupling between the HF oscillator, which correspond to respiratory modulation of the heart rhythm known as *respiratory sinus arrhythmia* (RSA), and the LF oscillations, as a result of a decreased breathing frequency, produces a powerful resonance phenomenon that entrains all

rhythms embedded in the heart rate time series to oscillate at the same frequency band. This phenomenon generally occurs in the LF range, around the natural resonant frequency at 0.1 Hz. In this study, we found that

practitioners who present a resonance effect may have a lower (scale 4) or higher (scale 5) resonance; however, in any case, they present similar dynamics. The variables which have negative loadings in the first component (1, 2, 6 and 7) behave like oscillating systems that do not fall into resonance, suggesting that different rhythmic processes operate independently of each other and, therefore, VLF, LF and HF oscillations will be present. This is particularly true for the less experienced practitioners (circles with no color) who have higher negative scores in the first component. Less experienced practitioners who have lower scores in the PC1 (values close to zero) present some frequencies interaction due to a decreasing frequency of the RSA that starts to overlap the LF oscillations.

It is clear that the more experienced practitioners (black and grey) decrease variability in the HF range, though not all of them share the pattern of predominant LF oscillations. This result suggests that for some of those long-term meditators there is a weak respiratory modulation (low RSA) in the LF range, causing a decrease in the extent of synchronization between the RSA and the LF oscillations. The intriguing question is why those very advanced practitioners (6 samples within the group represented in grey color are from Zen instructors) do present this kind of dynamics? The most likely explanation is that it might be related to the activity of the «emotional brain», the limbic system, which could affect the parasympathetic outflow and reduce the extent of RSA. It is possible that some kind of «emotional attachment» to the mental content could be preventing a deeper relaxation state.

According to the exposed, it seems that the RSA gradually shifts to the lower frequency ranges with the pass of the years of meditation, probably as a result of a natural decreasing breathing frequency, till it matches and synchronizes with the processes underlying slower rhythms. However, why the system evolves this way?

Entrainment between the RSA and the LF oscillations imply in a «low cost mode of functioning» that probably favors the meditation practice. We suggest that a decreased respiration rate and entrainment among cardiovascular rhythms during mindfulness meditation featured by experienced practitioners may reflect a natural physiologic adaptation of the cardiovascular autonomic regulation to this practice. Lehrer et al<sup>7</sup> and Cysarz and Büssing<sup>8</sup> also found synchronization between the oscillators during Zen meditation, in experienced practitioners.

The Zen master (in two of his meditations) exhibits a narrower resonant peak than the rest of practitioners that present resonance. Resonance within a smaller range of frequencies probably is more difficult to reach, however it is certainly more stable. A well defined resonant peak probably appears among long-term practitioners when the effect of mental oscillations on the breathing pattern is strongly reduced, which may represent a very equable meditation practice.

## Conclusion

The present findings suggest the existence of gradual autonomic and cardiovascular adaptations that practitioners experience along several

years in order to ascend on deeper meditative states. We found evidences that different stages in the practice of Zen meditation can be characterized by specific patterns of cardiac variability that tend to evolve to a «low cost mode of functioning», characterized by the appearance of resonance phenomena between cardiovascular rhythms, that probably favors the meditation practice.

Regarding the methodology, the scale-based approach inherent to the discrete wavelet methodology allowed a scale-by-scale comparison of the signals and provided an improved estimation of the lower frequencies content. Beyond that, the MODWT demonstrated to be an efficient methodology to use as a pre-treatment step before doing principal components analysis.

## Limitations of the study

Sample size: the sample was selected based on availability. Our intention was to find only devoted practitioners, which have always followed the same tradition. Inclusion and exclusion criteria were highly delimiting when selecting the sample. Even so, the fact that we have measured twice or more each meditator gave rise to more reliable results though cannot be extrapolated. In addition, the gender effects cannot be discarded; however, we showed synchronization processes and interactions between physiological oscillators, which probably do not depend on gender.

## Acknowledgments

The authors acknowledge Zen Masters Dokushô Villalba and Denkô Mesa Sensei for their guidance and facilitation in this work; and also the community of *Luz Serena Temple* and *Dojo Zanmai San* for their sincere collaboration.

## References

1. Shapiro SL, Schwartz GE, Bonner G. Effects of mindfulness-based stress reduction on medical and premedical students. *J Behav Med.* 1998;21:581-99.
2. Kabat-Zinn J. Mindfulness-based interventions in context: Past, present, and future. *Clin Psychol Sci Pract.* 2003;10:144-58.
3. Bogart G. The use of meditation in psychotherapy: a review of the literature. *Am J Psychother.* 1991;45:383-412.
4. Percival D, Walden A. Wavelet methods for time series analysis. Cambridge: Cambridge University Press; 2000.
5. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia: SIAM; 1992.
6. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur Heart J.* 1996;17:354-81.
7. Lehrer PM, Sasaki Y, Saito Y. Zazen and cardiac variability. *Psychosom Med.* 1999;61:812-21.
8. Cysarz D, Büssing A. Cardiorespiratory synchronization during zen meditation. *Eur J Appl Physiol.* 2005;95:88-95.



Revisión

ARTÍCULO EN INGLÉS

## Whole-body vibration effects in patients affected with Parkinson's disease: a systematic literature review

B. del Pozo-Cruz<sup>a</sup>, J.C. Adsuar<sup>a</sup>, J.A. Parraca<sup>a</sup>, P.R. Olivares<sup>a</sup>, E. Herrera<sup>b</sup> and N. Gusi<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Faculty of Sports Sciences. University of Extremadura. Cáceres. Spain.

<sup>b</sup>Enterprising Solutions for Health (E & H). Badajoz. Spain.

### History of the article:

Received August 14, 2010.

Accepted December 5, 2010.

### Key words:

Rehabilitation.

Physical therapy.

Neurological diseases.

Tremor.

Bradykinesia.

### ABSTRACT

Parkinson's disease (PD) is a common progressive bradykinetic disorder, although etiopathogenic is unknown, can be accurately diagnosed. However neuroprotectors treatment had been improve in the last decades, to date it's far of handicap motor control in this illness, for this cause, it's very necessary the addiction of other therapies as regular physical activity, in order to improve gait, balance, postural asymmetries or muscle power. The objective was to evaluate volume and methodological quality by existing studies in relation to the topic, testing the effects produced by whole body vibration (WBV) in PD. An electronic search literature of the main medicine databases (AMED, The Cochrane Library, GoogleScholar, MEDLINE, PEDro, PubMed, SPORT discus, TRIP database and Web of Science) was performed to identify studies published up to 1 of June 2009 that investigated the effects of WBV exercises in patients with PD. A total of 5 studies were selected and analyzed by PD. Main outcome measurements were gait, posture, balance and health related quality of life. In general, there is a poor evidence of the benefices effects of WBV exercise in patients with Parkinson's disease in outcome measurements. Future researches in this approach it is strongly necessary to answer it.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### Palabras clave:

Rehabilitación.

Terapia física.

Enfermedad neurológica.

Tremor.

Bradicinesia.

### RESUMEN

#### Efectos de las vibraciones mecánicas de cuerpo completo en pacientes afectados por la enfermedad de Parkinson: una revisión sistemática de la literatura

La enfermedad de Parkinson (EP) supone una alteración bradicinésica progresiva y aunque su etiopatogenia es desconocida, se puede diagnosticar de forma precisa. Aunque el tratamiento basado en neuroprotectores ha mejorado en las últimas décadas, hasta la fecha el inconveniente del control motor en esta enfermedad sigue existiendo; por esta razón es muy necesaria la adición de otras terapias como la actividad física regular, con el fin de mejorar la marcha, el equilibrio, las asimetrías posturales o la fuerza muscular. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el volumen y la calidad metodológica de los estudios existentes en relación con el tema, así como analizar las evidencias existentes sobre los efectos producidos por la vibración de cuerpo entero (WBV) en la EP. Se realizó una búsqueda bibliográfica electrónica en las principales bases biomédicas existentes (AMED, The Cochrane Library, GoogleScholar, MEDLINE, PEDro, PubMed, SPORT discus, TRIP database y Web of Science) para identificar los estudios publicados hasta el 1 de junio de 2009 que investigaron los efectos de los ejercicios con WBV en pacientes con EP. Se seleccionaron y analizaron un total de 5 artículos relacionados con la enfermedad de Parkinson. Las medidas principales fueron la marcha, la postura, el equilibrio y la salud relacionada con la calidad de vida. En general, hay una escasa evidencia de los efectos beneficiosos del ejercicio con WBV en pacientes con EP a partir de los resultados obtenidos. Son necesarias futuras investigaciones sobre el tema para responder a los interrogantes existentes.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### Correspondence:

B. del Pozo Cruz.

Faculty of Sports Sciences.

University of Extremadura.

10071 Cáceres, Spain

E-mail: borjadelpozo@unex.es

## Introduction

Parkinson's disease (PD) is a progressive movement disorder that is accompanied by bradykinesia and may be diagnosed precisely. It is characterized by the occurrence of a severe nigral cell loss in the pars-compacta, and an accumulation of alpha-synuclein in the cerebral trunk, spinal medulla and cortical regions<sup>1</sup>.

The etiopathogenesis of PD is not known with certainty, although we know that genetic predisposition exists<sup>2,3</sup>, and that age is a risk factor, since the prevalence of PD increases with age, for example incidence increases by 0.3% each year for every 1,000 persons aged between 55 and 65, and 4.4% each year for every 1,000 persons aged 85 and above. Apparently men have a greater risk of suffering from PD than do women (the ratio between affected men and women being 1.54; 95% IC, 0.95 to 2.51)<sup>4,5</sup>.

The main motor symptoms of PD are tremors, rigidity, bradykinesia, akinesia, and problems with balance and gait<sup>6,7</sup>. These symptoms have an effect upon the health-related quality of life (HRQoL)<sup>8</sup> affecting physical, psychological, social and functional well-being<sup>9</sup>; presenting a lower level of physical activity<sup>10</sup>, bone mass<sup>11</sup>, strength<sup>12</sup>, skills and balance<sup>13</sup> than in healthy peers<sup>14</sup>, whereby this population has a three-fold greater risk of falls followed by fractures than do persons not suffering from this disease<sup>15,16</sup>.

PD is marked by a deficit of dopamine supply, so that the most common treatment therapy is based on the replacement of this neurotransmitter<sup>17,18</sup>. Although neuroprotective treatments have advanced greatly, we are still very far off from being able to control motor handicap, so that the addition of other therapies, such as regular physical activity, which may contribute to improving gait, postural asymmetries, balance and increasing muscular strength is highly necessary<sup>19</sup>.

Even though some physical therapeutic treatment recommendations<sup>20</sup> exist for each of the stages that PD passes through<sup>21</sup>, initiatives for studying the cost-effectiveness and cost-utility of these therapies are rare indeed<sup>22</sup>. However, this type of studies does exist for pharmacologic therapies<sup>23</sup>, along with other types<sup>24</sup>.

In the last decade of the previous century, the use of whole body vibration (WBV) for improving performance and therapy had surged tremendously<sup>25</sup>. However, the beneficial effects of vibration in patients with nervous-system disorders had already been observed by neurologists, such as Martin Charcot<sup>26</sup>, at the beginning of this century, thus paving the way for studies related to the harmful effects of exposure to vibration in the workplace<sup>27</sup>.

Although, in recent years, the use of WBV has seen an increase in popularity, the mechanism responsible for the resulting benefits remains unclear. It is generally believed that WBV stimulates subcutaneous proprioceptors, the spinal circuit being the first phase in the feedback motor loop for generating rapid efferent reactions in response to proprioceptive input, thereby producing a tonic vibration reflex<sup>28</sup>, although central projection of the supraspinal motor centres also controls these reactions, thereby increasing corticospinal excitability and producing an alteration of the intracortical processes that are exclusively related to exercise<sup>29</sup>.

The majority of studies with healthy individuals has demonstrated WBV as a method for increasing physical capacity<sup>30</sup>, hormonal production<sup>31</sup>, bone mass<sup>32</sup>, balance, proprioception, and HRQoL<sup>33</sup>. However, a growing number of studies have been published for specific populations, for example adults, post-menopausal women, or persons

with neurological disorders<sup>34-46</sup>. Along with the increasing number of studies on the effects of WBV, systematic reviews related to the treatment and training of healthy individuals<sup>47-49</sup>, specific populations<sup>50</sup>, and neurological pathologies have begun to emerge. However, we have no knowledge of any systematic reviews on the effects of WBV in PD.

The aim of the present systematic review is to evaluate, at the risk of bias, the volume and methodological quality of clinically relevant studies existing up until June 1, 2009, and examine the effects obtained by WBV in patients affected by PD.

## Methods

In producing our systematic reviews, we used the PRISMA methodology<sup>51</sup>.

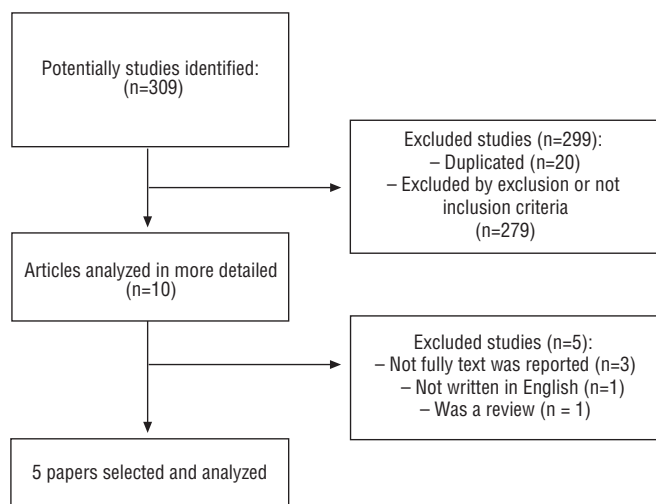
### Applied resources

Studies were identified by searching the following electronic databases of recognized quality, scanning the lists of articles reported there: AMED (2005 to the present), The Cochrane Library (2003 to the present), GoogleScholar (2003 to the present), MEDLINE (2000 to the present), PEDro (2003 to the present), PubMed (1973 to the present), SPORTdiscus (2002 to the present), TRIP database (2002 to the present), and Web of Science (1988 to the present). The ISRCTN database was scanned beginning from January 1, 2008, and until July 1, 2009, for the purpose of locating future studies of relevance to the current topic and entered there.

### Article selection

Selection of the databases, search strategy and list of terms, including their combinations, was done by medical library science experts and experts in the field of WBV applied to PD in order to locate the articles reported in the present systematic review. The search was completed July 1, 2009, with no submission deadline imposed on the experts.

The articles were located by using a combination of terms, ranging from WBV training or therapy to PD, accurately using the Boolean operators (AND, OR, NOT) in order to scan all underlying articles of relevance to the topic. A detailed list of terms and combination formulas is available from the authors of the present study. Duplicate articles were manually removed by one of the authors taking part in the initial review process. In figure 1, the flow chart of the complete process for the system review appears. Articles of the present study were indexed, if they matched the following inclusion criteria: a) treatment or training with WBV, b) aimed at individuals with PD, c) randomized and non-randomized clinical studies, d) studies with and without a control group in order to compare the effects of the treatment or training, e) published exclusively in English, and f) original articles of clinical studies. Articles were excluded, if they matched the following criteria: a) effects of exposure to vibration if studied within industry, labour employment and transport, b) aimed at animals and persons not presenting PD, c) one-time presentation of a summary at a conference, congress, critical treatise or seminar, d) presented in a language other than English, and e) reviews. Article selection was done by two experts independent of the standard method (with no double-blind controls), and resolving potential disagreements through mutual consensus. However, if this was impossible, direct contact with the original author of a certain manuscript was obtained via e-mail or telephone, as appropriate.



**Fig. 1.** Flow diagram of systematic review process.

### Risk of bias

In order to assess the risk of bias in the studies that were included in the current systematic review, we used the Physiotherapy Evidence Database (PEDro) scale. We chose this scale due to its special design and ability to provide a global view of the external and internal validity of the studies included in the present systematic review, and after reviewing its repeatability and utility<sup>52</sup>. Each article was graded independently by two reviewers participating in the study, reporting a high degree of intra-class coefficient correlation (0.92). There were no significant disagreements among the advisors ( $p = 0.9$ ).

### Level of evidence

The level of evidence was reported in accordance with the guidelines of the German Institute for Healthcare Improvement (CBO)<sup>53</sup>.

### Data extraction process and the outcome measurements used in this review. Analysis

The extraction of data from the selected articles was done by one author of the present review and subsequently checked by another, discussing potential disagreements among them, and finally allowing a third author to resolve any disagreements, when the original author of the manuscript submitted for discussion could not be contacted. The information was extracted separately from each selected manuscript, stating: a) participant characteristics (age and gender), b) degree of severity, duration and pharmacological patient dose, c) type of intervention (including type of machine, oscillation, frequency, amplitude, duration of intervention, series number and intervening rest periods, exposure time per series, body posture, knee angle and number of WBV sessions). An identical procedure followed in order to assess the key measurements contained in the individual reviewed articles and finally included in the present study. The key measurements presented were: a) balance, b) gait, c) postural control, d) proprioception, and e) HRQoL; using various measurements for the same physical quality in accordance with the article. These measurements were evaluated on the basis of the effect produced by WBV reported by the original author, and determined according to: a)  $\uparrow$  improvement in the exercise group ( $p < .05$ ), b)  $\downarrow$

improvement in the control group ( $p < .05$ ), c) = absence of significant differences, d) \* unreported or non-existent data, and e)  $\Delta$  significant intra-group, pre- and post-test differences.

## Results

### Article selection

Figure 1 shows the complete process that was followed in the systematic review. An electronic search of AMED (4), the Cochrane Library (11), GoogleScholar (281), MEDLINE (5), PEDro (1), PubMed (5), SPORTdiscus (3), TRIP database (0), Web of Science (10), and ISRCTN (0) yielded a total of 309 citations. A number of 289 citations were reviewed after removing duplicates. Of these, a total of 279 publications were rejected for inclusion in the systematic review, since having reviewed their summaries, they evidently did not match the proposed inclusion criteria. Five studies were subjected to a more in-depth analysis, since it was not clear from their summaries, whether or not they matched the inclusion criteria, and they were subsequently eliminated due to the following reasons: Full text not provided ( $n = 3$ ), written in a language other than English ( $n = 1$ ), and dealt with systematic reviews ( $n = 1$ ). A total of 5 articles were identified for inclusion in the current systematic review.

### Risk of bias

Table 1 provides the scores of each reviewed study, in which 3 studies were randomized and 2 were not. The scores on the PEDro scale varied between 2 and 7, the average being 4.60, and the standard deviation  $\pm 1.81$ . The lowest scores were given to items referring to the ignorance as to which group each patient corresponded to (assessors and therapists), where this was referenced by only two studies, and ignorance (by a patient) as to which group he/she belonged to, where no study made reference to assignment ignorance. On the other hand, an «intent-to-treat» analysis was not provided by any study. In the statistical field, 2 studies provided detailed measurements along with their variability, while 2 thereof made no reference to these measurements. Four of the reviewed studies provide inter-group comparisons, whereas only one study does not. All the studies provide participant characteristics, along with the inclusion and exclusion criteria defined by each study.

### Level of evidence

Table 1 shows the level of evidence for each study. Two studies present a level of evidence B, and three studies present a level of evidence C. The level of evidence of the topic discussed in the review was 3, in conformance with CBO<sup>53</sup>.

### Study characteristics

Table 2 captures the characteristics of the articles reviewed according to the theoretical approach reported internationally in health care, PICOS (Participants, Intervention, Control, Outcome Measurements and Study design)<sup>54</sup>.

### Patients

The age of reviewed study participants varied between  $63.1 \pm 7.3$  and  $75.0 \pm 6.8$ . Most of the patients presented in the studies were of male

**Table 1**  
Risk of bias and level of evidence

Reference	Question number on PEDro scale											Level of evidence	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		Score
Turbanski, 2005 <sup>37</sup>	y	n	n	n	n	n	n	n	n	y	n	2	C
Haas, 2006 <sup>39</sup>	y	n	n	y	n	n	n	n	y	n	y	5	C
Haas, 2006 <sup>38</sup>	y	y	n	y	n	n	y	y	y	n	y	7	B
Ebersbach, 2008 <sup>40</sup>	n	y	n	y	n	n	y	n	n	y	y	5	B
Arias, 2009 <sup>41</sup>	y	n	n	y	n	n	n	n	n	y	y	4	C
Total (SD)												4.60 (1.81)	3

n: criterion not fulfilled; y: criterion fulfilled. Scores: 1: eligibility criteria were specified; 2: subjects were randomly allocated to groups or to a treatment order; 3: allocation was concealed; 4: the groups were similar at baseline; 5: there was blinding of all subjects; 6: there was blinding of all therapists; 7: there was blinding of all assessors; 8: measures of at least one key outcome were obtained from more than 85% of the subjects initially allocated to groups; 9: intention to treat analysis was performed or all subjects received the treatment or control condition as allocated; 10: the results of between-group statistical comparisons are reported for at least one key outcome; 11: the study provides both point measures and measures of variability for at least one key outcome.

gender (above 50% in each reviewed study). The minimum sample contained 27 patients, and the maximum 68. The degree of severity varied from II to IV according to the Hoehn & Yahr (H&Y) scale<sup>21</sup>. The dopamine dose varied from 325 ( $\pm$  122) to 600 ( $\pm$  207.0) mg/d. The duration of the disease varied from 5.9  $\pm$  4.6 to 8.5  $\pm$  0.7 years.

### Whole body vibration equipment

The following vibration platforms were used in the review studies; 3 studies<sup>37-39</sup> used ZEPTOR-med (Scisen GmbH, Germany), study 40 used Galileo 2000 (Novotec, Germany) and 1 study used Fit Massage 216<sup>41</sup> (Top elite fit massage. Co, Zhejiang, China), differing from one another in terms of the type of vibration stimulation; the studies of one single WBV session used vibration platforms of the stochastic type, whereas the studies of at least 12 intervention sessions used tilting vibration platforms (fig. 2).

### Parameters affecting whole body vibration

#### Frequency (Hz) and amplitude (mm)

The frequency applied in the stochastic vibration machines was 6 Hz and the amplitude 3 mm<sup>37-39</sup>, whereas the tilting vibration machines used 6 and 25 Hz with an amplitude varying between 7 and 4 mm<sup>40,41</sup>.

#### Knee position and degree of knee flexion

All the reviewed studies reported static position during WBV, while no study detailed the exact degree of knee flexion.

### Description of training

WBV training varied between studies, where a single session was used in order to determine the acute effects and studies, where 12 or more WBV sessions were used in order to observe chronic effects. Three studies analyzed the acute effects of WBV<sup>37-39</sup>, after a single session of 60 s, while 2 studies analyzed the chronic effects after 12 and 30 sessions, respectively, lasting from 60 to 900 s (with a 60-s resting period between series)<sup>40,41</sup>.

### Key measurements and effects

The key measurements refer mainly to HRQoL and postural control values (table 3).

#### HRQoL

Five articles evaluated the impact of WBV on HRQoL using special questionnaires for each population. The Unified Parkinson's Disease

Ratings Scale (UPDRS)<sup>40,41</sup> and the Parkinson's Disease Questionnaire (PDQ-39) were used<sup>41</sup>.

#### Postural control

Four studies captured measures related to postural control, balance or gait<sup>37,38,40,41</sup>. In order to evaluate balance, proprioception and gait, we used measurements such as the functional reach test<sup>41</sup>, a test of walking 10 m at maximum speed<sup>40</sup>, the Berg<sup>41</sup> and Tinetti<sup>40</sup> balance scale, a test of rising, walking and sitting down<sup>40</sup> and specific gait parameters, such as speed, cadence, stride length and turning<sup>41</sup>.

#### Effects of exposure to whole body vibration

Three<sup>37-39</sup> out of the 5 studies reviewed focus on the acute effects of undergoing a single vibration session, and particularly evaluating the effects of postural control<sup>37</sup>, proprioception<sup>39</sup> and PD motor symptoms<sup>38</sup> noting improvements in the measurements of postural control with an advanced foot, in tremor, rigidity, bradykinesia, gait and posture. As for chronic effects, two articles studied the effects of medium-term exposure (after 12 and 30 sessions) to WBV<sup>40,41</sup>, one of them in comparison with a standard therapy<sup>40</sup> and the other, comparing with a placebo group<sup>41</sup>, finding no improvements in any of the measured parameters, except for posturography.

### Discussion

The completed systematic review produced a limited number of studies related to the effects on PD obtained by WBV, this being still a very recent topic (the first completed study dates back to 2005), and a great variety in the PICOS approach in the reviewed studies, something which makes it difficult to conduct a meta-analysis. For all the above reasons, the scientific evidence on the subject is limited, yielding a level 3 conformance with CBO<sup>53</sup>.

The results of the reviewed studies show that after a single WBV session, or after several weeks of training, the final HRQoL score improves in the UPDRS questionnaire, as does the score in the section of the questionnaire dealing with physical parameters. However, this improvement is reminiscent of the one obtained in a placebo group or a group in which a standard physical therapy was continued<sup>40,41</sup>. The paucity of studies and the modest sample size, allow us to say that there is currently scant evidence concerning the effects of WBV on HRQoL in PD.

In contrast, nearly all the reviewed studies present measurements related to balance, gait and postural control, which are crucial conditions in the course of PD<sup>7</sup>. The effects of applying a single WBV session on the



**Table 2**  
Characteristics of participants

Reference	N	Average of age (years)/sex	Level of disability	Duration of illness (years)	Dopamine media doses (mg/d)	Study design	Equipment	Frequency (Hz)	Amplitude (mm)	N.º Series (rest periods. s)	Time per series (s)	Posture (Static or dynamic)/knee flexion	Control group activity	Exercise group activity	N.º sessions of WBV
Turbanski, 2005 <sup>37</sup>	52	69.1: Men: 38; Women: 14	UPDRS (40.0±11.2); Hoehn & Yahr (3.3±0.6) Item 30 (postural stability) del UPDRS (1.4±1.1)	8.5±0.7	493.6±192.2	NRCT	Zepto-Med system	6±1	3	5*	60	static/*	rest	WBV	1
Haas, 2006 <sup>39</sup>	28	63.1: Men: *; Women: *	Hoehn & Yahr (de II a IV)	*	357±139	NRCT	Zepto-Med system	6±1	*	5*	60	static/*	rest	WBV	1
Haas, 2006 <sup>38</sup>	68	65.0: Men: 53; Women: 15	UPDRS (29.9±11.9) Hoehn & Yahr (de II a IV)	5.9±4.6	325±122	RCT	Zepto-Med system	6±1	3	5*	60	static/*	rest	WBV	1
Ebersbach, 2008 <sup>40</sup>	27	72.5(EG); Men: 7; Women: 3; 75.0 (CG); Men: 7; Women: 4	At least 1 on item 30 in UPDRS	7.0±3.3 (GE) 7.5±2.7 (GC)	532±226 (GE); 600±207 (GC)	RCT	Galileo 2000	25	7-14	2	900	Comfortable position, slightly knee flexion. No hold to structure/*	Standard therapy	Standard therapy + WBV	2 sessions/day (5d/wk). 3 wk
Arias, 2009 <sup>41</sup>	66.9 (CG); Men: 6; Women: 4; 66.5 (PG); Men: 6; Women: 5	MMSE≥ 24 Absence of joint and prothesis arthro-muscular deficit	*	*	*	RCT	Fit massage	6	*	5(60)	60	Separate feet in a comfortable position with slightly knee flexion./*	Same posture without vibration	WBV	12 sessions. 5 wk. in alternative days

\* Not reported in original manuscript; CG: control group; EG: experimental group; MMSE: mini mental state examination; NRCT: no randomized controlled trial; PG: placebo group; RCT: randomized controlled trial; UPDRS: Unified Parkinson's Disease Rating Scale; WBV: whole body vibration training.

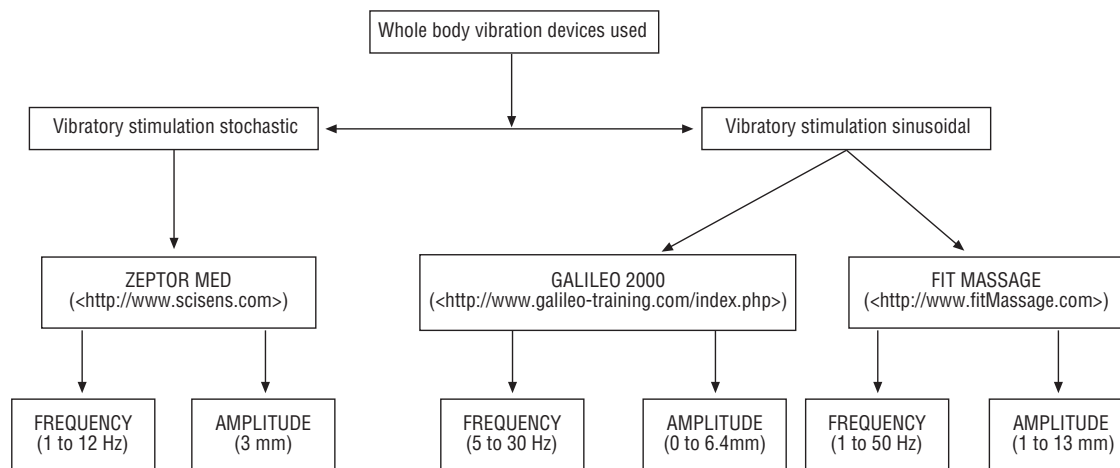


Fig. 2. Whole body vibration devices.

above parameters remain limited, since only one study reported improvements in terms of postural control<sup>37</sup>. As for the effects of WBV training below 12 weeks, it was observed that this type of training fails to produce a major improvement in patients, when comparing with a placebo therapy or a standard physical therapy, however, the statistically significant improvements found in the WBV group vis-a-vis the baseline is a sign that this treatment may be useful in PD.

This review presents some limitations. It lacks a standardized criterion for evaluating the level of evidence. Different authors of systematic reviews use different criteria<sup>55</sup>, and besides, the one and the same author

sometimes uses different criteria depending on the study<sup>56</sup>. The use of different criteria is related to the decision as to whether randomized clinical studies or studies presenting a low methodological quality should be considered, whereby scales of measurement may also vary, and the best method for assessing the risk of bias is also uncertain<sup>55</sup>.

Data deemed important, but found missing in the original manuscript, had to be requested from the author in charge of correspondence and omitted if not reported.

The search strategy that was used involved the risk of bias, since only articles written in English were searched. Publishing significant rather

**Table 3**  
Outcome measures for Parkinson's disease

Reference	Outcome measure	Control group (average $\pm$ post standar desviation or % of change)	Experimental group (average $\pm$ post standar desviation or % of change)	Effect reported
Turbanski, 2005 <sup>37</sup>	Postural control (cm)			
	1) Narrow standing	-7.1% $\Delta$	-14.9% $\Delta$	=
Haas, 2006 <sup>39</sup>	2) Tandem standing	-11.3%	-24% $\Delta$	$\uparrow$
	Proprioceptive performance			
Haas, 2006 <sup>38</sup>	The average maximum knee angles	*	*	=
	The average minimum knee angles	*	*	=
Ebersbach, 2008 <sup>40</sup>	UPDRS motor score (score)			
	Group A	*	-16.8% $\Delta$	$\uparrow$
Arias, 2009 <sup>41</sup>	Group B	*	-14.7% $\Delta$	$\uparrow$
	Tinetti Balance Scale (puntuation)	11.5 ( $\pm$ 2.4)	12.8 ( $\pm$ 1.9) $\Delta$	=
	Posturography (mm)	2,256.0 ( $\pm$ 681.0)	1,306.0 ( $\pm$ 331.0)	=
	Walking velocity 10 m (s)	16.5 ( $\pm$ 2.5)	15.1 ( $\pm$ 3.5) $\Delta$	=
	Time up and go -3m test (s)	9.5 ( $\pm$ 2.1)	8.5 ( $\pm$ 2.1) $\Delta$	=
	UPDRS III sum (puntuation)	16.9 ( $\pm$ 5.0)	17.6 ( $\pm$ 4.5) $\Delta$	=
	Pull test (puntuation)	1.32 ( $\pm$ 0.4)	1.17 ( $\pm$ 0.72)	=
	Stability and gait			
	Velocity (m/s)	0.7 ( $\pm$ 0.2)	0.7 ( $\pm$ 0.2) $\Delta$	=
	Cadence (steps/s)	1.7 ( $\pm$ 0.2)	1.7 ( $\pm$ 0.1) $\Delta$	=
Step amplitude (mm)	0.4 ( $\pm$ 0.0)	0.4 ( $\pm$ 0.0) $\Delta$	=	
Time of turn (s)	2.2 ( $\pm$ 1.3)	2.0 ( $\pm$ 1.1)	=	
UPDRS (score)	58 ( $\pm$ 15.7)	48.3 ( $\pm$ 14.7) $\Delta$	=	
UPDRS motor (score)	30.4 ( $\pm$ 7.1)	24.8 ( $\pm$ 7.0) $\Delta$	=	
Balance Berg test (score)	42.2 ( $\pm$ 10.9)	46.2 ( $\pm$ 5.2) $\Delta$	=	
Functional ritch (mm)	221.3 ( $\pm$ 73.6) $\Delta$	207.2 ( $\pm$ 74.7) $\Delta$	=	
Pegboard (# rods)	7.5 ( $\pm$ 1.99)	7.0 ( $\pm$ 2.37) $\Delta$	=	
PDQ-39 (score)	50.5 ( $\pm$ 27.0)	49.5 ( $\pm$ 15.7)	=	

PDQ-39: The Parkinson's Disease Questionnaire; UPDRS: Unified Parkinson's Disease Rating Scale;

\*not reported; =: not differences significatives;  $\uparrow$ : effects statistical significatives in favor of WBV group;  $\Delta$ : statistic significative differences between pre-test and post-test intragroup.

than non-significant results is easier, and the latter are more likely to appear in national journals, if written in the native language<sup>57</sup>.

The need to investigate whether all the beneficial effects related to the application of WBV in healthy populations can be extrapolated to PD becomes apparent.

An optimal dose-response study according to disorder and WBV type is urgently needed. Similarly, the cost-effectiveness and cost-utility of various WBV treatments should be determined.

## Conclusions

From data disclosed in the present review it appears that WBV may help improve balance, gait, postural control, as well as HRQoL of individuals with PD, however, the paucity of studies, the variety of applied vibration types, measurements provided in the various studies, and interventions performed have all made it difficult to make a comparison between existing PD and WBV studies. In order to clarify these issues, future studies need to be made.

## Acknowledgements

This project was supported by Enterprising Solutions for Health, S.L.

## References

1. Lees AJ, Hardy J, Revesz T. Parkinson's disease. *Lancet*. 2009;373:2055-66.
2. Biskup S, Gerlach M, Kupsch A, Reichmann H, Riederer P, Vieregge P, et al. Genes associated with Parkinson syndrome. *J Neurol*. 2008;255 Suppl 5:8-17.
3. Pankratz N, Wilk JB, Latourelle JC, DeStefano AL, Halter C, Pugh EW, et al. Genomewide association study for susceptibility genes contributing to familial Parkinson disease. *Hum Genet*. 2009;124:593-605.
4. De Lau LM, Giesbergen PC, de Rijk MC, Hofman A, Koudstaal PJ, Breteler MM. Incidence of parkinsonism and Parkinson disease in a general population: the Rotterdam Study. *Neurology*. 2004;63:1240-4.
5. Vines JJ, Larumbe R, Gaminde I, Artazcoz MT. [Incidence of idiopathic and secondary Parkinson disease in Navarre. Population-based case registry]. *Neurologia*. 1999;14:16-22.
6. Lopez-Morinigo JD, Ramos-Ríos R, Martínez-Formoso S, Arrojo-Romero M, Ecenarro-Tome P. [Parkinson's disease and obsessive-compulsive spectrum]. *Rev Neurol*. 2009;49:202-9.
7. Larsen JP, Beiske AG, Bekkelund SI, Dietrichs E, Tysnes OB, Vilming ST, et al. [Motor symptoms in Parkinson disease]. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2008;128:2068-71.
8. Yousefi B, Tadibi V, Fathollahzadeh Khoei A, Montazeri A. Exercise therapy, quality of life, and activities of daily living in patients with Parkinson disease: a small scale quasi-randomised trial. *Trials*. 2009;10:67.
9. Goodwin VA, Richards SH, Taylor RS, Taylor AH, Campbell JL. The effectiveness of exercise interventions for people with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Mov Disord*. 2008;23:631-40.
10. Botzel K, Kraft E. Strategies for treatment of gait and posture associated deficits in movement disorders: the impact of deep brain stimulation. *Restor Neurol Neurosci*. 2010;28:115-22.
11. Di Monaco M, Vallero F, Di Monaco R, Tappero R, Cavanna A. Type of hip fracture in patients with Parkinson disease is associated with femoral bone mineral density. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89:2297-301.
12. Oliveira MA, Rodrigues AM, Caballero RM, Petersen RD, Shim JK. Strength and isometric torque control in individuals with Parkinson's disease. *Exp Brain Res*. 2008;184:445-50.
13. Mak MK, Pang MY. Balance self-efficacy determines walking capacity in people with Parkinson's disease. *Mov Disord*. 2008;23:1936-9.
14. Fertl E, Doppelbauer A, Auff E. Physical activity and sports in patients suffering from Parkinson's disease in comparison with healthy seniors. *J Neural Transm Park Dis Dement Sect*. 1993;5:157-61.
15. Genever RW, Downes TW, Medcalf P. Fracture rates in Parkinson's disease compared with age- and gender-matched controls: a retrospective cohort study. *Age Ageing*. 2005;34:21-4.
16. Pressley JC, Louis ED, Tang MX, Cote L, Cohen PD, Glied S, et al. The impact of comorbid disease and injuries on resource use and expenditures in parkinsonism. *Neurology*. 2003;60:87-93.
17. Linazasoro G, van Blercom N. [Treatment of Parkinson disease: therapeutic reserve of the dopaminergic agonist]. *Neurologia*. 2006;21:365-75.
18. Brotchie J, Fitzer-Attas C. Mechanisms compensating for dopamine loss in early Parkinson disease. *Neurology*. 2009;72(7 Suppl):S32-8.
19. Keus SH, Bloem BR, Hendriks EJ, Bredero-Cohen AB, Munneke M. Evidence-based analysis of physical therapy in Parkinson's disease with recommendations for practice and research. *Mov Disord*. 2007;22:451-60; quiz 600.
20. Keus SH, Munneke M, Nijkrake MJ, Kwakkel G, Bloem BR. Physical therapy in Parkinson's disease: evolution and future challenges. *Mov Disord*. 2009;24:1-14.
21. Hoehn MM, Yahr MD. Parkinsonism: onset, progression and mortality. *Neurology*. 1967;17:427-42.
22. Watts JJ, McGinley JL, Huxham F, Menz HB, Iansek R, Murphy AT, et al. Cost effectiveness of preventing falls and improving mobility in people with Parkinson disease: protocol for an economic evaluation alongside a clinical trial. *BMC Geriatr*. 2008;8:23.
23. Eggert KM, Reese JP, Oertel WH, Dodel R. Cost effectiveness of pharmacotherapies in early Parkinson's disease. *CNS Drugs*. 2008;22:841-60.
24. Fraix V, Houeto JL, Lagrange C, Le Pen C, Krystkowiak P, Guehl D, et al. Clinical and economic results of bilateral subthalamic nucleus stimulation in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2006;77:443-9.
25. Suvorov GA, Schajpak EJ, Kurerov NN, Seidel H, Bluthner R, Schuster U, et al. [The effect of low-frequency whole-body vibration on the vestibular apparatus]. *Z Gesamte Hyg*. 1989;35:496-8.
26. Goetz CG, Jean-Martin Charcot and his vibratory chair for Parkinson disease. *Neurology*. 2009;73:475-8.
27. Seidel H, Heide R. Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature. *Int Arch Occup Environ Health*. 1986;58:1-26.
28. De Domenico G. Tonic vibratory reflex. What is it? Can we use it? *Physiotherapy*. 1979;65:44-8.
29. Mileva KN, Bowtell JL, Kossev AR. Effects of low-frequency whole-body vibration on motor-evoked potentials in healthy men. *Experimental Physiology*. 2009;94:103-16.
30. Cochrane DJ, Stannard SR. Acute whole body vibration training increases vertical jump and flexibility performance in elite female field hockey players. *Br J Sports Med*. 2005;39:860-5.
31. Goto K, Takamatsu K. Hormone and lipolytic responses to whole body vibration in young men. *Jap J Physiol*. 2005;55:279-84.
32. Torvinen S, Kannus P, Sievanen H, Jarvinen TA, Pasanen M, Kontulainen S, et al. Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study. *J Bone Miner Res*. 2003;18:876-84.
33. Bruyere O, Wuidart MA, Di Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richey F, et al. Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86:303-7.
34. Jackson KJ, Merriman HL, Vanderburgh PM, Braehler CJ. Acute effects of whole-body vibration on lower extremity muscle performance in persons with multiple sclerosis. *J Neurol Phys Ther*. 2008;32:171-6.
35. Schuhfried O, Mittermaier C, Jovanovic T, Pieber K, Paternostro-Sluga T. Effects of whole-body vibration in patients with multiple sclerosis: a pilot study. *Clin Rehabil*. 2005;19:834-42.
36. Schyns F, Paul L, Finlay K, Ferguson C, Noble E. Vibration therapy in multiple sclerosis: a pilot study exploring its effects on tone, muscle force, sensation and functional performance. *Clin Rehabil*. 2009;23:771-81. Epub 2009 Jun 26.
37. Turbanski S, Haas CT, Schmidtbleicher D, Friedrich A, Duisberg P. Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Res Sports Med*. 2005;13:243-56.
38. Haas CT, Turbanski S, Kessler K, Schmidtbleicher D. The effects of random whole-body-vibration on motor symptoms in Parkinson's disease. *Neuro Rehab*. 2006;21:29-36.
39. Haas CT, Buhlmann A, Turbanski S, Schmidtbleicher D. Proprioceptive and sensorimotor performance in Parkinson's disease. *Res Sports Med*. 2006;14:273-87.
40. Ebersbach G, Edler D, Kaufhold O, Wissel J. Whole body vibration versus conventional physiotherapy to improve balance and gait in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89:399-403.
41. Arias P, Chouza M, Vivas J, Cudeiro J. Effect of whole body vibration in Parkinson's disease: a controlled study. *Mov Disord*. 2009;24:891-8.
42. Van Nes JJ, Latour H, Schils F, Meijer R, van Kuijk A, Geurts AC. Long-term effects of 6-week whole-body vibration on balance recovery and activities of daily living in the postacute phase of stroke: a randomized, controlled trial. *Stroke*. 2006;37:2331-5.
43. Van Nes JJ, Geurts AC, Hendricks HT, Duysens J. Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence. *Am J Phys Med Rehabil*. 2004;83:867-73.
44. Tihanyi TK, Horvath M, Fazekas G, Hortobagyi T, Tihanyi J. One session of whole body vibration increases voluntary muscle strength transiently in patients with stroke. *Clin Rehabil*. 2007;21:782-93.

45. Semler O, Fricke O, Vezyroglou K, Stark C, Schoenau E. Preliminary results on the mobility after whole body vibration in immobilized children and adolescents. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2007;7:77-81.
46. Ahlborg L, Andersson C, Julin P. Whole-body vibration training compared with resistance training: effect on spasticity, muscle strength and motor performance in adults with cerebral palsy. *J Rehabil Med.* 2006;38:302-8.
47. Rehn B, Lidstrom J, Skoglund J, Lindstrom B. Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports.* 2007;17:2-11.
48. Lings S, Leboeuf-Yde C. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *Int Arch Occup Environ Health.* 2000;73:290-7.
49. Prisby RD, Lafage-Proust MH, Malaval L, Belli A, Vico L. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: what we know and what we need to know. *Ageing Res Rev.* 2008;7:319-29.
50. Madou KH, Cronin JB. The Effects of Whole Body Vibration on Physical and Physiological Capability in Special Populations. *Hong Kong Physiother J.* 2008;26:24-38.
51. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gotzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLoS Med.* 2009;6:e1000100.
52. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2003;83:713-21.
53. Rosenbrand K, Van Croonenborg J, Wittenberg J. Guideline development. *Stud Health Technol Inform.* 2008;139:3-21.
54. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gotzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *J Clin Epidemiol.* 2009;62:e1-34. Epub 2009 Jul 23.
55. Ferreira PH, Ferreira ML, Maher CG, Refshauge K, Herbert RD, Latimer J. Effect of applying different "levels of evidence" criteria on conclusions of Cochrane reviews of interventions for low back pain. *J Clin Epidemiol.* 2002;55:1126-9.
56. Van Tulder M, Malmivaara A, Esmail R, Koes B. Exercise therapy for low back pain: a systematic review within the framework of the cochrane collaboration back review group. *Spine (Phila Pa 1976).* 2000;25:2784-96.
57. Higgins JP. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* Version 5.0.1 [updated Sept 2008]. The Cochrane Collaboration. 2008: [consulted Jul 2009]. Available from: [www.cochrane-handbook.org](http://www.cochrane-handbook.org).



## Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2011;4(2):71-76  
www.elsevier.es/ramd



### Revisión

# Efectos de la altitud sobre el crecimiento físico en niños y adolescentes

M.A. Cossio-Bolaños<sup>a,b</sup>, M. de Arruda<sup>a</sup>, V. Núñez Álvarez<sup>b</sup> y J.L. Lancho Alonso<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Ciencias del deporte. FEF. Unicamp. Brasil.

<sup>b</sup>Departamento de Ciencias Morfológicas de la Facultad de Medicina. Universidad de Córdoba. España.

#### Historia del artículo:

Recibido el 12 de febrero de 2010

Aceptado el 11 de septiembre de 2010

#### Palabras clave:

Crecimiento.

Hipobaría.

Altitud.

Niños y adolescentes.

#### Key words:

Growth.

Hypobaría.

Altitude.

Children and adolescents.

### RESUMEN

Las poblaciones que habitan en altitudes elevadas presentan un pequeño retardo en el crecimiento lineal y un mayor diámetro y circunferencia del tórax que los habitantes de regiones próximas al nivel del mar. Estas diferencias se atribuyen al fenómeno de la hipobaría, así como a factores socioeconómicos, nutricionales y ambientales. El propósito de la presente revisión es dar a conocer los efectos que produce la altitud y resumir las investigaciones que evalúan el impacto en elevadas altitudes sobre las variables del crecimiento físico. Dado que no existen estudios estandarizados que evalúen el crecimiento físico en poblaciones en proceso de crecimiento, se utilizan como norma los estudios realizados sobre el nivel del mar (Organización Mundial de la Salud y NCHS). Por lo tanto, es necesario desarrollar estudios en poblaciones de altitud que utilicen muestras representativas y puedan ser generalizables a este tipo de realidad.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### ABSTRACT

#### Effects of altitude on physical growth in children and adolescents

Populations living at high altitudes have a slight delay in linear growth and a larger diameter and chest circumference of the inhabitants of regions near the sea level. These differences are attributed to the phenomenon of hypobaría, as well as socioeconomic, nutritional and environmental. The purpose of this review is to show the effects that altitude and summarize the research evaluating the impact in high altitudes on the physical growth variables. Consequently there are no standardized studies to assess physical growth in population in the process of growth, thus using as a standard studies of sea level (World Health Organisation and NCHS). Therefore, it is necessary to develop studies in populations of altitude using representative samples and can be generalized to this type of reality.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

#### Correspondencia:

M.A. Cossio-Bolaños.

Av. Erico Verissimo 701.

Cidade Universitaria, CEP, 13083-851.

Campinas, SP; Brasil.

Correo electrónico: mcossio30@hotmail.com

## Introducción

El crecimiento humano es un proceso dinámico y complejo que comienza con la fertilización del óvulo y se completa con la fusión de las epífisis y las metafisis de los huesos largos, que caracteriza la terminación de la adolescencia<sup>1</sup>. Este proceso se produce en tres fases como son la infancia, niñez y adolescencia<sup>2</sup>, terminando con el cierre de la senectud. Su valoración puede realizarse a través de medidas antropométricas, cuyas variables son aceptadas como importantes instrumentos en el control de la salud y evaluación del estado nutricional de los niños<sup>3</sup>, a la vez que permite evaluar el impacto de los factores ambientales y genéticos en la adaptación biológica de las poblaciones humanas, tanto del nivel del mar como de altitud. De hecho, los estudios referenciales, como los de la Organización Mundial de la salud (OMS) y NCHS, fueron desarrollados con base en poblaciones sobre el nivel del mar. Por lo que las observaciones, las mediciones y el uso de las gráficas de curvas estandarizadas no pueden utilizarse en poblaciones que habitan en altitud durante el proceso de crecimiento físico. A pesar de que muchos estudios tienen demostrado los efectos de la altitud sobre las características fisiológicas<sup>4,5</sup> y sobre el crecimiento físico<sup>6-8</sup>. En este sentido, es necesario desarrollar estudios poblacionales que permitan proponer referencias internacionales oriundas para el 6% de la población mundial que vive en altitud. El patrón de crecimiento de los niños que habitan a gran altitud es muy sensible en comparación con los del nivel del mar, ya que algunos estudios tienen demostrado que los efectos de la hipobaría producen un retardo en el crecimiento lineal<sup>8-11</sup>. También los fenómenos del estirón puberal, la maduración ósea y sexual parecen estar igualmente retrasados frente a las pautas de desarrollo general<sup>12-14</sup>.

Por lo tanto, el objetivo de la presente revisión es analizar los efectos que produce la altitud sobre las variables del crecimiento físico de niños y adolescentes, así como resumir las investigaciones que evalúan el impacto en elevadas altitudes.

## Generalidades relacionadas con el crecimiento físico

### Aspectos conceptuales

El crecimiento físico ha sido definido clásicamente por Meredith<sup>15</sup>, como la secuencia de modificaciones somáticas que sufre un organismo biológico en su historia de vida ontogenética o, alternativamente, como toda la serie de cambios anatómicos y fisiológicos que tienen lugar entre el comienzo de la vida prenatal y el cierre de la senectud. Este fenómeno biológico comprende el aumento en el número y tamaño de las células que componen los diversos tejidos del organismo<sup>16</sup>, a través del cual, los seres vivos, al mismo tiempo que incrementan su masa, maduran morfológicamente y adquieren progresivamente su plena capacidad funcional<sup>17</sup>. Este hecho se explica como resultado de tres procesos celulares, a saber, hiperplasia, hipertrofia y agregación<sup>18,19</sup>. La hiperplasia se describe como el aumento en el número de células, la hipertrofia es el aumento en el tamaño de las mismas y la agregación es el incremento de la capacidad de los substratos intercelulares para agregarse a las células.

Durante las primeras 16 semanas de gestación el crecimiento fetal se caracteriza por los fenómenos de hiperplasia celular, seguida por la combinación de esta con la hipertrofia de la células (de 16 a 32 semanas de gestación). A partir de ese momento ocurre el aumento adicional de grasa y proteína, respectivamente. Es decir, el fenómeno de la agregación.

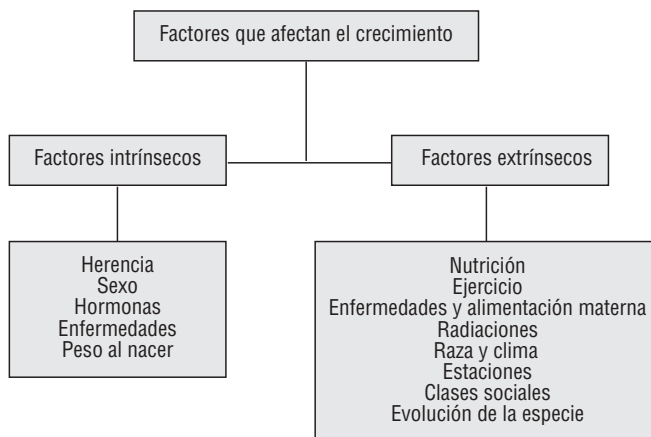


Fig. 1. Factores que afectan el crecimiento.

El crecimiento constituye un encadenamiento de fenómenos de orden celular, fisiológicos y morfológicos, predeterminados genéticamente y modificables por los fenómenos que traslucen al medio ambiente. Encadenamiento, donde el crecimiento y el desarrollo están íntimamente ligados como verdaderos procesos indisolubles. Craig<sup>20</sup> considera que el desarrollo se refiere a los cambios cualitativos que tienen lugar simultáneamente con los cambios cuantitativos del crecimiento, siendo por lo tanto, el resultado de las interacciones e intercambios entre el organismo y su medio ambiente<sup>21</sup>, respectivamente. Pues estos procesos van desde la concepción, pasando por la maduración, hasta la muerte.

Finalmente, con relación al análisis de las curvas de crecimiento de diferentes partes y órganos del cuerpo, Scamom<sup>22</sup> hace más de 80 años presentó un esquema que facilita su interpretación, que se resume en cuatro patrones de crecimiento: curva general, curva neural, curva genital y curva linfoide. Estas curvas para algunos autores son el punto de partida en discusiones sobre el crecimiento físico<sup>18,23</sup>, independientemente del sexo, raza y condición geográfica.

### Factores que afectan

El crecimiento humano es un proceso dinámico y complejo, influido por factores genéticos, nutricionales, ambientales y hormonales<sup>1</sup>. Estos se reflejan en factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos están concentrados en el sistema neuro-endocrino, en el esqueleto y en la rigidez de los órganos efectores terminales y en las células. En este caso, el crecimiento puede ser influido por la herencia, las hormonas y las enfermedades. En el caso de los extrínsecos, podemos resaltar que abarcan una extensa gama de características ambientales, en el que el desarrollo del crecimiento depende mucho del potencial genético de la persona. Por ello, aspectos como la condición socioeconómica, actividad física, tendencia secular, alimentación pueden influir en los niños, adolescentes y adultos, así como también en condiciones medioambientales de baja, media y elevadas altitudes. Por lo tanto, desde esa perspectiva, se considera que la mezcla de distintos grupos, a partir de condiciones sociales similares, étnicas, alimenticias y bajo condiciones climáticas diversas, las características físicas se modifican, y se muestra un perfil poblacional que se diferencia de otros grupos humanos<sup>24</sup>, como son los niños y adolescentes que viven en condiciones ambientales afectadas por la hipobaría (fig. 1).

## Evaluación referencial del crecimiento

Para la evaluación del crecimiento físico es necesario tomar en consideración las medidas antropométricas, como estatura, peso corporal, circunferencias, pliegues cutáneos y diámetros óseos<sup>19,25</sup>, aceptadas como importantes instrumentos en el control de la salud y evaluación del estado nutricional de los niños<sup>3</sup>. Los desvíos de normalidad, así como la detección y corrección de los problemas que interfieren en el crecimiento pueden corregir problemas de repercusiones futuras en la salud<sup>26</sup>, y sirven para reflejar el estado de salud, estado social, y situación socioeconómica de las poblaciones<sup>3</sup>.

Por otro lado, los estudios referenciales que abarcan grandes poblaciones fueron desarrolladas en el nivel del mar<sup>10,27-30</sup>, usando las normas internacionales como parámetro. Sin embargo, podemos destacar que el 93,8% de la población mundial vive por debajo de los 1.500 m sobre el nivel del mar (msnm), y solo el 6% en poblaciones de altitud<sup>31</sup>. Esta pequeña proporción de habitantes presenta diversas características geográficas, sociales, culturales, económicas, étnicas, entre otras, que son consideradas como heterogéneas para el resto del mundo. A su vez, podemos destacar que en México, el 50,5% de la población vive en ciudades de altitud (> 1.500 msnm)<sup>31</sup>. En el caso del Perú, el 33% vive por encima de los 3.000 msnm<sup>14</sup>. En Colombia, Ecuador, Bolivia, norte de Chile y nordeste de Argentina existen poblaciones que viven en ciudades de elevadas altitudes<sup>32</sup>, cerca de los 2.000 msnm.

Bajo esos argumentos, los estudios de la OMS<sup>33</sup> y NCHS<sup>34</sup> no pueden ser aceptados como normas referenciales de crecimiento en poblaciones como las anteriormente citadas, ya que los resultados de los procesos de evaluación y los puntos de corte pueden producir errores en la estimación, dado que algunos estudios tienen ampliamente demostradas diferencias con el patrón de referencia, tanto en niños, como en adolescentes y adultos que habitan en altitud<sup>9,35-40</sup>. Por lo tanto, se sugiere generar estudios referenciales en poblaciones por encima de los 1.500 msnm, que den origen a sus propios patrones referenciales.

## Efectos de la hipoxia sobre el crecimiento físico

### Antecedentes

Desde muchos años atrás se estudia la respuesta adaptativa de la vida humana en elevadas altitudes<sup>41</sup>. Pues a través de la historia se conoce que antiguamente el ser humano vivía cerca del mar y poco o nada en la montaña, dado que el hombre llegó mucho más tarde a las regiones de altitud<sup>42</sup>, fruto de las continuas exploraciones de la época. Destacan algunos acontecimientos como el de Marco Polo en el Tíbet, donde sufrió algunos trastornos fisiológicos típicos de las ascensiones a las montañas. Así como también el de los frailes que llegaron a cristianizar las Américas, quienes fueron los primeros en dar las descripciones de los síntomas de la patología de altitud, comúnmente conocido como «mal de montaña». Estos hechos permitieron que hoy en día se interprete como adaptación<sup>6</sup>.

En las montañas de los Andes del Perú, los incas conocían perfectamente las distintas condiciones del organismo humano, tanto en altitud como en el nivel del mar<sup>42</sup>. Cuando los españoles llegaron al Perú en el año de 1533 a conquistar el Tawantinsuyo (Cuzco) al mando de Francisco Pizarro, se iniciaron una serie de exploraciones y durante el trayecto a Cuzco, los españoles percibieron que no podían continuar con el ascenso, ya que el equipo presentaba una serie de trastornos fisiológicos típicos de altitud;

es entonces cuando Pizarro ordenó acampar (adaptación) y permanecer unos días en mitad de camino, para luego continuar con el viaje.

Esos hechos sucedieron después de la conquista del Perú y quedaron marcados en la historia de la fisiología de altitud, como una forma de adaptación para las poblaciones de elevadas altitudes. En 1928, en Perú, el investigador Alberto Hurtado realizó las primeras investigaciones del mundo en altitud con relación al metabolismo en poblaciones nativas de los Andes<sup>43</sup>. En la década de los 40, el médico Carlos Monge (hijo) trabajó bajo la orientación de Hurtado investigando el papel de la glucosa, el ácido láctico y el ácido pirúvico tanto en el nivel del mar como en altitud<sup>44</sup>. Esto confirma que las primeras investigaciones relacionadas con la fisiología de la altitud fueron desarrolladas en el Perú.

Por lo tanto, esas regiones geográficas en la actualidad son consideradas multi-estresantes, al presentar características de temperatura ambiental fría, escasa humedad relativa, potente radiación solar y bajo nivel de oxígeno<sup>45,46</sup>. Estas marcadas variaciones geográficas son un impedimento para el desarrollo social y económico de dichas poblaciones, al imposibilitar el mejoramiento de las condiciones de vida.

### Clasificación de la altitud

Los criterios para la clasificación de la altitud muestran factores como la temperatura ambiental, latitud, susceptibilidad individual<sup>47</sup>, pero también cabe señalar un criterio biológico, como la hipobaría (tabla 1).

### Hipoxia

Las características multi-estresantes que presentan las regiones de elevadas altitudes pueden influir en muchos aspectos en las poblaciones que viven en esas zonas geográficas y el impacto puede ser observado en diferentes niveles de severidad<sup>16</sup> y consecuentemente, se perciben causas de muerte muy precoz en niños<sup>35-37</sup>, ya que las poblaciones que experimentan mayores efectos son las regiones rurales que se encuentran ubicadas por encima de los 3.000 msnm. Estas poblaciones generalmente se encuentran asociadas a escasos recursos ecológicos y bajo nivel socioeconómico<sup>32</sup>, así como a condiciones medioambientales estresantes<sup>48,49</sup> producidas por la hipobaría. En consecuencia, para ascender a elevadas altitudes es necesario de un periodo de aclimatación, hasta alcanzar la adaptación. Los estudios sostienen que las personas que nacieron y se desarrollaron en dichas regiones se adaptan completamente a la altitud<sup>50,51</sup>, no así las personas que son del nivel del mar, las cuales no llegan a alcanzar dicha adaptación.

### Efectos sobre el peso corporal y estatura

El crecimiento físico de los niños y adolescentes que viven en localidades de elevadas altitudes es objeto de estudio de muchos investigadores<sup>7,10,45,52,53</sup>, cuya finalidad es estudiar el efecto de la altitud sobre el crecimiento físico humano<sup>54</sup>. La mayoría de esos estudios reportan datos de crecimiento en peso corporal y estatura, de niños y adolescentes, utilizando como norma el nivel del mar<sup>27,29,30</sup>.

Bajo esa perspectiva, se puede manifestar que en relación a investigaciones realizadas en países con variaciones geográficas de elevadas altitudes como el Perú y Bolivia se ha demostrado que la hipobaría está asociada a un pequeño retardo en el crecimiento físico<sup>33,45,55-57</sup>, así como también limita el crecimiento físico lineal. Algunos estudios consideran que el mencionado efecto es relativamente pequeño<sup>40,56</sup>.

Los niños que viven bajo estas condiciones de estrés ambiental generado por la hipobaría muestran reducido tamaño corporal en todas las

**Tabla 1**  
Clasificación de la altitud

Nivel de altitud	(m)	Descripción
Muy elevada altitud	Más de 5.000	Vida permanente imposible
Elevada altitud	2.000-5.000	Se pueden observar modificaciones fisiológicas en reposo y muy acentuadas en ejercicios
Media altitud	1.000-2.000	Disminución del rendimiento físico
Baja altitud	0,00-1.000	No hay efecto fisiológico: ni en reposo ni en ejercicio

Tomada de Terrados-Cepeda<sup>59</sup>.

edades después del nacimiento, a su vez también presentan una reducción porcentual en la velocidad del crecimiento, especialmente en la pubertad<sup>58</sup>. Entretanto, resultados de otros estudios sugieren que pueden existir factores semejantes como el potencial genético, factores socioeconómicos, estado nutricional<sup>59,60</sup> y eso puede ser una explicación para que las poblaciones por encima de los 3.000 msnm sean poco desarrolladas y normalmente presenten bajo nivel socioeconómico<sup>32</sup>, sobre todo cuando se trata de zonas rurales, en las que el contenido nutricional es pobre<sup>7</sup> y presentan diferencias en el tipo de alimentación en relación con los habitantes del nivel del mar<sup>61</sup>.

Por otro lado, en un estudio realizado en niños a 2.320 msnm de Arequipa (Perú) se concluyó que los niños de condición socioeconómica media presentan menor estatura que los patrones de referencia y son más pesados, tanto en hombres y mujeres de 6 a 12 años<sup>8</sup>. De esa forma, el crecimiento físico en elevadas altitudes se ve afectado por un pequeño (1-4 cm) retardo sobre el crecimiento lineal y maduración esquelética y sexual<sup>40,56</sup>, respectivamente.

### Efectos sobre las proporciones corporales

Varias han sido las investigaciones con la intención de comprender los ajustes entre el medio ambiente y las variaciones biológicas y culturales de los habitantes de elevadas altitudes<sup>7,61</sup>. Se han tratado de verificar los efectos de la altitud sobre las características fisiológicas<sup>3,37,50,57,62,63</sup>, la composición corporal y la estructura somática<sup>57</sup> aunque se han encontrado pocos estudios relacionados con las proporciones corporales durante el proceso de revisión bibliográfica. El grado de conocimiento en esta área, aún poco explorada, es escaso, lo que abre nuevas posibilidades de estudio en esta área del crecimiento físico, incluidas variables físicas relacionadas con el rendimiento físico y la salud.

En relación con la descripción morfológica del tórax se considera que el cuerpo humano de los habitantes de altitud en respuesta a la hipobaría reparte más energía para el crecimiento del corazón y los pulmones, que al crecimiento somático<sup>7</sup>. Por ello, podría explicarse que niños y adolescentes de elevadas altitudes presentan diferencias significativas en la morfología del tórax en relación con niños del nivel del mar<sup>64</sup>. Dado que autores como Moorel et al<sup>41</sup> consideran que grandes volúmenes del pulmón están asociados con el incremento del área superficial para el cambio gaseoso<sup>41</sup> y este incremento se produce alrededor de los 11 años y aumenta hasta los 19 años<sup>65</sup>, consecuentemente, los volúmenes pulmonares resultan de la exposición a elevadas altitudes durante la etapa del crecimiento y desarrollo físico<sup>41</sup>. Se ha determinado que la circunferencia del tórax en estos niños es entre un 12 y un 15% mayor comparados con niños americanos y peruanos del nivel del mar<sup>66</sup>.

Por otro lado, pocos estudios han analizado pliegues cutáneos, circunferencias y diámetros óseos. Sin embargo, en un estudio realizado en el sur del Perú se compararon los diámetros del tórax anterior y transverso en niños y adultos de la costa (valle), de Tambo (nivel del mar) y Nuñoa (4.150 msnm), y se concluyó que los habitantes de altitud presentan mayores diámetros, y que probablemente esas diferencias se deban atribuir a orígenes medioambientales<sup>9,67</sup>, es decir, por efectos de la exposición a la altitud.

En relación con los pliegues cutáneos y la circunferencia del brazo, que son utilizados como indicadores del estado nutricional<sup>55</sup>, los estudios muestran valores inferiores del pliegue tricúspido y de la circunferencia del brazo en comparación con los habitantes de media altitud de 2-18 años<sup>68</sup>. De la misma forma, se encontraron diferencias entre niños y adolescentes de zona urbana y rural (Tintaya-Marquiri)<sup>45</sup>, con esas diferencias atribuidas al tipo de alimentación<sup>61,68</sup>. Esto puede deberse a que la dieta de los habitantes de altitud (Andes) está basada en productos como el maíz, harina, tubérculos, carnes rojas, en diferente cantidad y calidad<sup>69,70</sup>, mientras que los habitantes del nivel del mar (costa) se alimentan en función de los productos del mar<sup>69</sup>. Esto refleja la pobre calidad de las dietas de las poblaciones rurales de altitud<sup>756</sup>. La tabla 2 representa las investigaciones desarrolladas en altitud, estos estudios muestran poblaciones pequeñas, difíciles de generalizar a otras poblaciones o realidades. Es necesario investigar en mayor número de sujetos para aumentar el número de individuos y evitar sesgos en los resultados.

Finalmente, los estudios revelan que el pliegue cutáneo tricúspido y circunferencia del brazo en niños y adolescentes hombres y mujeres son menores con relación a los residentes de baja altitud<sup>45,68,71</sup> o nivel del mar, ya que está demostrado que los habitantes de altitud presentan un metabolismo basal del 10%, mayor que los del nivel del mar. Por lo tanto, se produce un menor aporte calórico en los habitantes de altitud y consecuentemente, menor efecto en el crecimiento y desarrollo<sup>72</sup> somático.

### Conclusiones

- 1) Los niños y adolescentes de altas altitudes presentan un pequeño retardo en el crecimiento y desarrollo físico y probablemente en la maduración esquelética y sexual, esto se atribuye principalmente al fenómeno de la hipoxia y también a factores económicos y nutricionales.
- 2) Los habitantes de altura no presentan investigaciones referenciales de crecimiento físico.
- 3) La mayoría de los estudios presentan muestras pequeñas y solo verifican el efecto de la altitud, sin interesarse en estandarizar y desarrollar sus propios patrones referenciales en variables de crecimiento físico, composición corporal y de maduración.

### Recomendaciones

- 1) Es necesario desarrollar estudios con el objetivo de investigar variables relacionadas con la maduración biológica y composición corporal que podrían explicar mejor el efecto de la hipoxia en niños y adolescentes.
- 2) Las organizaciones internacionales que desarrollaron las propuestas referenciales para evaluar el estado nutricional en poblaciones del nivel del mar deberían promover la creación y el uso de sus propios patrones referenciales en poblaciones de altitud.



**Tabla 2**  
Relación de estudios realizados en diferentes niveles de altitud en poblaciones andinas

N	Población	Altitud (m)	Media de edad	DE	Edad (rango)	n	Estatura (cm)		Peso corporal (kg)	
							Media	DE	Media	DE
1	Andes	2.743-4541	27,6	1,6		28	157,6	1	54,3	1,1
2	Perú-Quechua	3.700	38,3	11,3	20-69	77	158,1	5,4	60,3	6,3
3	Ecuador Rural.	3.000-3.400	38,3	16		16	159	6,3	61,3	9,2
4	Mestizo	3.700	32	12		526	162	6	64	8
5	Bolivianos urbanos	3.712	34	0,7		32	168,5	0,8	60	1
6	Aymara Bolivian	3.752-3.980	21,1			95	160,9	5,4	57,1	6,4
7	Quechua (small size)	3.840	43	2,4		22	156,7	2,9	59,5	3,8
8	Quechua (large size)	3.840	21,3	1,6		18	166,8	2,3	66,2	4,3
9	Nuñoa	3.850-5.000	20,2		23+	101	159,1	5,7	60	7
10	Rural Bolivian Aymara	4.000-4.100			20-65	6	161,9	5,7	54,8	2,8
11	Peruvian Quechua	4.000			22-36	22	158,8	5,9	53,7	3,6
12	Rural Bolivians	4.100	34,7	1,3		39	160,6	0,6	58,7	1,1
13	Chilean Aymara	4.000-4.500	44			70	162,9	4,5	61,1	7,2
14	Peruvian Quechua	>4.500			22-35	22	159	4,5	57,5	5,3
15	Bolivianos	3.700			20-45		160,1	5,8	57,3	5,4
16	Perú (Arequipa) Hombres	2.320	9	2,16	5,50-12,49	473	130,1	5,43	30,33	4,1
	Perú (Arequipa) Mujeres	2.320	9	2,16	5,50-12,49	482	133,54	5,32	31,98	4,31

1: Picón-Reategui et al<sup>72</sup>; 2: Tosselli, et al<sup>57</sup>; 3: Leonard et al<sup>13</sup>; 4: Tufts<sup>73</sup>; 5: Frisancho et al<sup>12</sup>; 6: Mueller et al<sup>29</sup>; 7: Frisancho et al<sup>53</sup>; 8: Frisancho et al<sup>53</sup>; 9: Leatherman et al<sup>74</sup>; 10: Kashiwazaki et al<sup>75</sup>; 11: Frisancho, Baker<sup>27</sup>; 12: Frisancho et al<sup>12</sup>; 13: Mueller et al<sup>76</sup>; 14: Frisancho, Baker<sup>27</sup>; 15: Leatherman et al<sup>77</sup>; 16: Cossio-Bolaños et al<sup>8</sup>.

DE: desviación estándar

## Bibliografía

- Rosenbloom A. Fisiología del crecimiento. Ann Nestlé (Esp). 2007;65:99-110.
- Cameron N. Growth patterns in adverse environments. Am J Hum Biol. 2007;19:615-21.
- Onis M, Habicht JD. Anthropometric reference data for international use; recommendations from a world health organization expert committee. Am J Clin Nutr. 1996;64:650-8.
- Beall CM, Goldstein MC. Hemoglobin concentration, percent oxygen saturation and arterial oxygen content of Tibetan nomads at 4850 to 5450 m. En: Sutton JR, Coates G, Remmers JE, editores. Hypoxia: The adaptations. Toronto: B.C. Decker Inc.; 1990. pp. 59-65.
- Tarazona-Santos E, Lavine M, Pastor S, Fiori G, Pettener D. Hematological and pulmonary responses to high altitude in Quechuas: a multivariate approach. Am J Phys Anthropol. 2000;111:165-76.
- Beall CM. Adaptations to altitude: a current assessment. Annu Rev Anthropol. 2001;30:423-56.
- Weinstein K. Thoracic skeletal morphology and high-altitude hypoxia in Andean Prehistory. Am J Phys Anthropol. 2007;134:36-49.
- Cossio-Bolaños MA, Arruda M, Gómez R. Crecimiento físico en niños de 6 a 12 años de media altura de Arequipa - Perú (2.320 msnm). Rev Inter Ciencias Deporte. 2009;14:32-44.
- Beall C, Baker PT, Baker TS, Haas JD. The effects of high altitude on adolescent growth in southern Peruvian Ameridians. Human Biology. 1977;49:109-24.
- Stinson S. The physical growth of high altitude Bolivian Aymara children. Am J Phys Anthropol. 1980;52:377-85.
- Pawson I, Huicho L, Muro M, Pacheco A. Growth of children in two economically diverse Peruvian high-altitude communities. Am J Phys Anthropol. 2001;13:323-40.
- Frisancho AR, Frisancho HG, Milotich M, Brutsaert T, Albalak R, Spielvogel H, et al. Developmental, genetic, and environmental components of aerobic capacity at high altitude. Am J Phys Anthropol. 1995;96:431-42.
- Leonard WR, Leatherman TL, Carey JW, Thomas RB. Contributions of nutrition versus hypoxia to growth in rural Andean populations: Am J Hum Biol. 1990;2:613-26.
- Lomaglio DB, Marrodán MD, Verón JA, Díaz MC, Gallardo F, Alba JA et al. Peso al nacimiento en comunidades de altura de la Puna Argentina: Antofagasta de la Sierra (Catamarca). Antropol. 2005;9:61-70.
- Meredith HV. Toward a working concept of physical growth. Am J Orthodon Oral Surg. 1945;31:440-58.
- Layman DK, Hegarty PVJ, Swan PB. Comparison of morphological and biochemical parameters of growth in rat skeletal muscles. J. Anat. 1980;130:159-71.
- Hernández M. Fisiología y valoración del crecimiento y la pubertad. Pediatr Integral. 2007;XI:471-84.
- Malina RM, Bouchard C. Growth maturation and physical activity. Campaign: Human Kinetics; 1991.
- Torres Serrano AS. Crecimiento y desarrollo. Rev Mex Med Física Rehab. 2002;14:54-7.
- Craig J. Human Development. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc.; 1983.
- Sandén Vandcr WJ. Human Development. New York: Refred A Knopg, Inc.; 1989.
- Scammon RE. The first seriatim study of human growth. Am J Phys Anthropol. Philadelphia. 1927;10:329-36.
- Tanner JM. Use and abuse of growth standards. En: Falkner F, Tanner JM, editores. Human growth. Plenum Publishing Corporation N.Y.; 1986. pp. 95-109.
- Serrano-Sánchez C. La antropometría de Daniel Vergara Lope. Valorar con parámetros propios. Gac Med Mex. 2004;140.
- Arruda M. Factores de crecimiento físico y aptitud física en pre-escolares. Rev Bras Ciencia Mov. 1993;1:73-82.
- Jeong BY, Park YS. Sex differences in anthropometry from school furniture desing. Ergonomics. 1990;33:1511-821.
- Frisancho AR, Baker PT. Altitude and growth: a study of the patterns of physical growth of a high-altitude peruvian Quechua population. Am J Phys Anthropol. 1970;32:279-92.
- Frisancho AR. Human growth and development among high altitude populations. En: Baker PT, editor. The Biology of High Altitude Peoples. International Biological; 1978.
- Mueller WH, Scull VN, Schull WJ, Soto P, Rothhammer F. A multinational Andean genetic and health program: growth and development in a hypoxic environment. Ann Hum Biol. 1978;5:329-52.
- Greksa LP, Spielvogel H, Paredes-Fernández L, Paz-Zamora M, Caceres E. The physical growth of urban children at high altitude. Am J Phys Anthropol. 1984;65:3315-22.
- Ponce de León S. The WHO Multicentre growth reference study and altitude above sea level. An example of hyposometric bias. High Altit Med Biol. 2008;9:249-51.
- Moreno Romero S, Madorran Serrano M D, Bejarano I, Dipierri J. Crecimiento longitudinal en poblaciones de alturas andinas. Existe un patrón propio de estos sistemas. Rev observatorio medio ambiental. 2006;9:155-69.
- Organización Mundial de la Salud: Medición del cambio del estado nutricional. Ginebra: OMS; 1983.
- NCHS: Growth curves for children - 18 years. Vital and Health Statistics. DNEW, Publi, (PHS); 1978. Serie 165.
- Mazess RB. Neonatal mortality and altitude in Peru. Am J Phys Anthropol. 1965;23:209-13.
- Hoff C. Reproduction and viability in highland Peruvian indian populations. High Altitude Adaptation in a Peruvian Community. Occasional Papers in Anthropology No. 1, Department of Anthropology. University Park, Pa: Pennsylvania State: University Press; 1968.
- Baker PT, Dutt JS. Demographic variables as measures of biological adaptations: A case study of high altitude populations. In the Structure of Human Populations. 1972.
- Baker PT. Adventures in human population biology. Ann Rev. Anthropol. 1996;25:1-18.
- Clegg EJ, Pawson IG, Asthon EH, Flinn RM. The growth of children at different altitudes in Ethiopia. Philosophical Transactions of the Royal Society. B. 1972;264:403-37.
- Greksa L. Growth and development of Andean high altitude residents. High Alt Med Biol. 2006;7:116-24.
- Moorel, Niermeyers, Zamudio S. Human adaptation to high altitude: Regional and life-cycle perspectives yearbook of physical. Anthropol. 1998;41:25-64.

42. Castelló-Roca A. Hombre, montaña y medicina. Barcelona: Generalitat de Cataluña; 1993.
43. González F. Metabolismo en las grandes alturas. Acta Andina. 2001;9:31-42.
44. Leon Velarde C. Homenaje al profesor Emilio Marticorena. Anal Med Socorro Montaña. 2007;5:4-5.
45. Pawson I, Huicho L, Muro M, Pacheco A. Growth of children in two economically diverse Peruvian high-altitude communities. Am J Physic Anthropol. 2001;13:323-40.
46. Frisancho R. Ecological interpretation of postnatal growth at high altitude. En: Environmental and human population problems at high altitude. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique; 1981. pp. 87-93.
47. Terrados-Cepeda N. Fisiología del ejercicio en altitud. En: Gonzales-Gallego J, editor. Fisiología de la actividad física y del deporte. España: Editorial Inter-americana; 1992. pp. 287-98.
48. Mazeo RS. Physiological responses to exercise at altitude. Sports Med. 2008;38:1-8.
49. Pawson IG, Jest C. The high altitude areas of the world and their cultures. En: Baker PT, editor. The biology of high altitude peoples. Cambridge: Cambridge University press; 1978. pp. 1-16.
50. Baker L, Ultman I, Rhoaders R. Simultaneous gas flow and diffusion in a symmetric airway system: a mathematical model. Resp Physiol; 1974;21:119-38.
51. Lahari S, Kao FF, Velasquez T. Respiration of man during exercise at high altitude, difference between highlander and lowlander. Resp Physiol. 1970.
52. Meer K, Bergaman JS, Voorhoeve HW. Differences in physical growth of Aymara and Quechua children living at high altitude in Perú. Am J Physic Anthropol. 1993;90:59-75.
53. Frisancho AR, Borkan GA, Klayman JE. Pattern of growth of lowland and highland Peruvian Quechua of similar genetic composition. Human Biology. 1975;47:233-43.
54. Obbert P, Fellmanni G, Falgairrettei M, Bedu E, Van Praagh H, Kempers B, et al. The important of socioeconomic and nutritional conditions rather than altitude on the physical growth of pre-pubertal Andean highland boys. Ann Human Biology. 1994;21:145-54.
55. Leonard WR. Nutritional determinants of high altitude growth in Nuñoa, Perú. Am J Physic Anthropol. 1989;80:341-52.
56. Stinson S. The effect of high altitude on the growth of children of high socioeconomic status in Bolivia. Am J Physic Anthropol. 1982;59:61-71.
57. Toselli S, Tarazona-Santos E, Pettener D. Body size, composition, an blood pressure of high-altitude quechua from the Peruvian Central Andes. Am J Hum Biol. 2001;13:539-47.
58. Hass JD, Baker PT, Hunt EE. The effects of high altitude on body size and composition of the newborn infant in southern Peru. Am J Phys Athropol. 1982;59:251-62.
59. Hoff C. Altitudinal variations in the physical growth and development of Peruvian Quechua. Homo. 1974;24:87-99.
60. Malina RM. Growth of children at different altitudes in Central and South America. Am J Physic Anthropol. 1974;40:144-53.
61. Weinstein KJ. Body proportions in ancient Andeans from high and low altitudes. Am J Phys Anthropol. 2005;128:569-85.
62. Greksa LP, Beall CM. Development of chest size and lung function at high altitude. En: Little MA, Hass JA, editores. Human Biology. 1989.
63. Khalid M. Anthropometric comparison between high-and low-altitude Saudi Arabians. Ann Human Biology. 1995;22:459-65.
64. Stinson S. Chest dimensions of European and Aymara children at high altitude. Ann Human Biology. 1985;12:333-8.
65. Greksa LP, Spielvogel H, Caceres E. Total lung capacity in toung highlanders of Aymara ancestry. Am I Phys Anthropol. 1994;94:477-86.
66. Frisancho AR. Human growth and pulmonary function of high altitude Peruvian Quechua population. Human Biology. 1969;41:365-79.
67. Rupert J, Hochacka P. The evidence for hereditary factors contributing to high altitude adaptation in Andean natives: a review. High Altit Med Biol. 2001;2:235-56.
68. Tripathy V, Gupta R. Growth among Tibeteans at high and low altitudes in India. Am J Hum Biol. 2007;2:37-51.
69. Moseley ME. The Incas and their ancestors. 2nd ed. London: Thames and Hudson; 2001.
70. Nuñez AL. Cultura y conflicto en los oasis de San Pedro de Atacama. Santiago de Chile: Editorial Universitaria; 1991.
71. WHO. Physical status: The use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO expert commitec. Geneva: World Health Organization; 1995.
72. Picon-Reategui E, Lozano R, Valdivieso J. Body composition at sea level and high altitudes. J Appl Physiol. 1961;16:589-92.
73. Tufs DA, Haas JD, Beard JL, Spielvogel H. Distribution of hemoglobin's and functional consequences of anemia in adults males at high altitude. Am J Clin Nutr. 1985;42:1-11.
74. Leatherman TL, Carey JW, Brooke TR. Socioeconomic changes and pattern of growyih in the Andes. Am J Phys Anthropol. 1995;97:307-22.
75. Kashiwazaki H, Dejima Y, Orias- Rivera J, Coward WA. Prediction of the total body water and fatness from anthropometry: Importance of skinfold measurements. Am J Hum Biol. 1996;8:331-40.
76. Mueller WH, Hurillo F, Palaminoh, Badzioch M, Chakraborty R, Fuerst P, et al. The Aymaras of Western Bolivia: V. Growth and development in an hypoxic environment. Human Biology. 1980;52:529-46.
77. Leatherman TL, Brooke TR, Greksa LP, Haas JD. Anthropometric survey of high altitude Bolivian porters. Ann Hum Biol. 1984;11:253-6.



## Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2011;2(4):77-83  
www.elsevier.es/ramd



Revisión

ARTÍCULO EN INGLÉS

# Pleiotropic effects of physical exercise on healthy aging

G. López-Lluch and P. Navas

Centro Andaluz de Biología del Desarrollo-CSIC. Departamento de Fisiología, Anatomía y Biología Celular. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla. Spain.

*History of the article:*  
Received January 8, 2011  
Accepted March 7, 2011

*Key words:*  
Aging.  
Exercise.  
Mitochondria.

*Palabras clave:*  
Envejecimiento.  
Ejercicio.  
Mitocondria.

### ABSTRACT

Aging is a multifactorial process that affects all the organs and systems of the organism. Although the decline of physiological capacity associated with aging is, to date, unavoidable, practice of healthy life habits and physical activity can reduce the incidence of several aging-related diseases. In the present review we recapitulate the different effects of aging on the organism and show the new evidences that demonstrate how exercise is able to improve cell physiology in aged people. Moreover, the molecular mediators involved in the effect of exercise on aging progression are indicated.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### RESUMEN

#### Efectos pleiotrópicos del ejercicio físico en el envejecimiento saludable

El envejecimiento es un proceso multifactorial que afecta a todos los órganos y sistemas del organismo. Aunque la reducción de la capacidad física asociada al envejecimiento es, hasta la fecha, inevitable, la práctica de hábitos de vida sanos y de la actividad física pueden reducir la incidencia de varias de las enfermedades asociadas al envejecimiento. En esta revisión recopilamos los diferentes efectos del envejecimiento sobre el organismo y presentamos las nuevas evidencias que demuestran cómo el ejercicio es capaz de mejorar la fisiología celular en las personas mayores. Además, se indican los mediadores moleculares implicados en el efecto del ejercicio sobre la progresión del envejecimiento.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

*Correspondence:*  
G. López-Lluch.  
Centro Andaluz de Biología del Desarrollo-CSIC.  
Departamento de Fisiología, Anatomía y Biología Celular.  
Universidad Pablo de Olavide.  
Carretera de Utrera km 1.  
41013 Sevilla, Spain.  
E-mail: glopllu@upo.es.

## Introduction

Aging is a process, not a disease, which starts just after birthday. Even after conception, the developing organism starts a series of mechanisms that can affect positively or negatively further development including late years of life. These mechanisms are linked to the resistance of the organism to the decrease of the efficiency of physiological systems associated with aging. Scientific and clinical evidences demonstrate that the aging process can be accelerated by the malfunction of some genes such as Werner gene (Werner syndrome)<sup>1</sup> or the Lamin A gene (Hutchinson–Gilford progeria syndrome)<sup>2</sup> that causes progeria, a disease that produces rapid aging and begins in childhood. These evidences demonstrate that aging depends in part of the accurate function of key proteins encoded by these genes. Furthermore, several other evidences demonstrate that the deregulation of the metabolism in the organism also plays an important role in aging process and diseases bases in mutations in key components of cell metabolism ended in early death or senescence-like processes.

It is very difficult to disconnect the process of aging from the effect that some age-related diseases produce in the organism. In most cases, some diseases such as neurodegenerative diseases or metabolic-related diseases such as diabetes or obesity are aggravated during aging but also accelerate the aging process.

Although to date we cannot stop the aging process, we can improve health during last years of live of individuals. In this sense, increasing body of evidences has point to life habits as key factors that affect physiological activities during the last years. Among these life habits, nutrition, social activity and especially physical activity play an important role in the prevention of the impairment of age-related disease improving the activity and independence of individuals, in sum, their healthy aging. Thus, the aim of the present revision is to highlight the role of exercise at late years in the life.

## Deleterious effect of aging on organism's physiology and beneficial effects of exercise

As a general phenomenon, aging affects all the organs and systems of the human being. Basically all the cells of the organism are losing their physiological capacities and become unable to maintain a functional equilibrium. This is the cause by which, although aging is not a disease, the progression of the incapability of cells and tissues increase the possibility to develop aging-related diseases.

In the following sections we will review the effects of aging on organs and systems and the most recent discoveries that demonstrate that the practice of physical activity even in old people is beneficial to maintain the capacity of the specific organs and also the whole organism.

### Sarcopenia and frailty

Sarcopenia, the degenerative decrease in muscle mass and strength, is one of the main degenerative processes occurring during aging. During sarcopenia, muscle is replaced by fat and by connective tissue increasing fibrosis. Then, this progressive loss of muscle mass is directly responsible of the impaired mobility and higher frailty in the elderly. Furthermore, muscle injury linked to sarcopenia is accompanied by macrophage infiltration and increase of cytokine expression that resembles a systemic inflammation in muscle<sup>3</sup>.

Although muscle loss linked to sarcopenia is multifactorial<sup>4</sup>, one of the most important risk factors for sarcopenia is sedentarism. Then, it is clear that, in an opposite way, the practice of exercise must be one of the main factors to maintain muscle mass and improve strength during aging. It seems that one of the main factors involved in atrophy of muscle fibers accompanying sarcopenia is the increase in dysfunctional mitochondria. Following the mitochondrial theory of aging, the accumulation of dysfunctional mitochondria during aging due to a higher oxidative damage and a lower mitochondrial turnover by decreasing mitophagy is responsible of the main physiological dysfunction that accumulates in aged people<sup>5</sup>. Furthermore, a recent study performed in a transgenic mouse showing a higher ratio of mutations in mitochondrial DNA due to the presence of a proofreading-deficient version of the mitochondrial DNA polymerase gamma, demonstrated a higher incidence of sarcopenia in these animals. Sarcopenia was affected by the deficit in mitochondrial activity due to anomalous assembly of functional electronic transport chain complexes that reduces oxidative phosphorylation although without increasing oxidative stress in these animals<sup>6</sup>. Another mouse model lacking the cytosolic version of the superoxide dismutase antioxidant enzyme (SOD1), shows high levels of oxidative damage and an accelerated sarcopenia. In this case, sarcopenia is also accompanied by a decline in mitochondrial bioenergetics, higher mitochondrial-dependent apoptosis and higher levels of reactive oxygen species (ROS)<sup>7</sup>.

In a very recent review, Parise et al<sup>5</sup> show that resistance exercise improve mitochondrial phenotype in aged skeletal muscle increasing the number of functional fibers and the proportion of functional mitochondria in these fibers. Moreover, endurance exercise has been able to prevent mitochondrial DNA depletion and mutations in a transgenic mouse showing higher ratio of mutation due to abnormalities in DNA polymerase gamma<sup>8</sup>. These studies demonstrate that endurance exercise is able to maintain mitochondrial remodeling improving bioenergetics and increasing the capacity of muscle fibers. Thus, a correct turnover of mitochondria during aging permitting balanced bioenergetics equilibrated with the necessities of the organism is important to avoid sarcopenia in the elderly.

However, the type of exercise and the amount must be clearly fixed for each individual depending on its specific characteristics because an inadequate exercise must produce deleterious effects on muscle due to increases in oxidative stress-induced damage<sup>9</sup>.

### Osteogenesis

As in the case of sarcopenia, bone mass also shows involution with aging. Physical activity, even at low frequency, is able to increase bone mass and reduce the bone loss associated with age<sup>10</sup>. Furthermore, the decrease of estrogens after menopause is one of the responsible factors of bone loss in women since bone remodeling depends in part of estrogen receptor alpha<sup>11</sup>. As exercise is able to stimulate this receptor, the combination of exercise with estrogen therapy in postmenopausal women would maintain higher bone mass during aging.

### Insulin resistance, obesity and diabetes

Sedentarism is one of the main causes of the epidemic increase of obesity and metabolic syndrome and its related risks as cardiovascular diseases, type 2 diabetes, hypertension, and other diseases including cancer<sup>12</sup>. One of the main factors involved in the impairment of the

homeostasis of the whole organism associated to obesity and diabetes is insulin resistance. Aging is accompanied in most of the cases by the increase of insulin resistance mainly because physical inactivity<sup>13</sup> and by the prevalence of the metabolic syndrome<sup>14</sup>. Insulin resistance perturbs the use of glucose by muscle and adipose tissue and produces the accumulation of fat in other parts of the organism such as liver impairing the activity of this organ. Further, insulin resistance aggravates several other processes including atherogenesis, dyslipidemia, increase of visceral adiposity, etc.

The practice of both aerobic and resistive exercise modifies body composition and is one of the main therapies to avoid obesity and increase insulin sensitivity in the whole organism even in older adults<sup>15-18</sup>. Short-term exercise has been able to improve pancreatic beta-cell function and ameliorate insulin resistance in old people<sup>19</sup>. However, it has been recently shown that training significantly improves insulin sensitivity in muscle in control and diabetic patients<sup>20</sup> although mitochondrial ROS release tended to be higher in diabetic patients, indicating a putative problem of re-adaptation of mitochondria in these patients.

As in the case of sarcopenia, mitochondria activity seems to be importantly involved in the onset of insulin resistance in diabetes and aging<sup>21</sup>. Although it is unclear whether exercise can prevent, reverse or delay the onset of insulin sensitivity, several evidences and studies indicate that exercise may reverse insulin resistance by affecting mitochondrial activity<sup>22</sup>.

### **Exercise and hormones**

Estrogen and other hormones production decrease during aging. In addition to its known effect on sexual cycle and activity, estrogens are important effectors that affect several other activities in the organisms. They affect bone remodeling, muscle mass maintenance, lipid deposition, prevent neurodegeneration and some kind of cancer, etc. Then, the maintenance of estrogen hormones above a determined level can be important to preserve tissue activity during aging.

Postmenopausal women show a clear decline of hormone levels that not only affects estradiol but also testosterone levels. This decline would affect physical capacity since it has been demonstrated that sex and estrogen may attenuate the indices of post-exercise muscle damage and enhance muscle contractile properties<sup>23</sup>. Once again, some studies have demonstrated the effect of estrogens on mitochondrial capacity for oxidative phosphorylation at the same time that decrease production of ROS indicating that mitochondrial decline with aging can be also reduced by maintaining higher levels of estrogens during aging, especially in women<sup>24</sup>. Then, the reduction of estrogens levels during aging would be one of the main factors involving in the decrease of physical capacity during aging.

Several studies have been developed to determine the effect of exercise on estrogens levels. Although a first hypothesis would indicate higher levels of hormones after exercise, a recent study have shown that sexual hormones such as estradiol or testosterone show an inverse association with physical activity during menopausal transition<sup>25</sup>. However, in general, most of the studies have demonstrated that exercise is able to induce an increase in circulating androgens in both sexes. This effect is observed after both, resistance and endurance acute exercise<sup>26</sup>. However, in the cases of chronic training, the picture is less clear and, in some cases, exercise can lead to a decrease in circulating androgens.

On the other hand, it has been demonstrated in men that the practice of long-term intensive training produce deleterious effects on semen

production and reduction in the levels of testosterone in serum whereas these levels recover after a recovery period of low-level exercise practice<sup>27</sup>. This effect has is known as the «exercise-hypogonadal male condition» and the causes are not clear but it seems that the hypothalamic-pituitary-testicular regulatory axis suffers a readjustment due to chronic endurance exercise<sup>28</sup>. These results indicate that physical activity is important to maintain estrogen levels in the organism but it must be indicated at a correct level for each age. The balance between beneficial and detrimental effects of high levels of estrogens in the organism must be considered in old people to plan a specific training protocol depending on the age and the specific characteristics of the person.

Another important issue is concerning the adrenal hormones such as dehydroepiandrosterone (DHEA) and DHEA-sulfate. These secretory products of the adrenal gland dramatically decline with aging. Due to the cardioprotective, antiobesity, antidiabetic and immuno-stimulatory effects of DHEA, its age-related decline must be one of the most important factors in senescence<sup>29</sup>. Thus, it has been suggested that restoration of DHEA levels to young adult levels may have beneficial effects on age-related diseases. Most of the studies performed in aged people have been focused on the effect of DHEA together with exercise in patients showing different diseases. In fact, few recent works indicate that exercise increase the levels of DHEA<sup>30,31</sup> although other have not found changes in older but do in young adults<sup>32</sup>. Further, other studies have found that DHEA can be metabolized in muscle to locally increase the levels of testosterone<sup>33</sup>. Knowing the effects of steroids on muscle and several other organs, increase of DHEA by exercise could be one of the main factors involved in healthy aging. However, the mechanism by which exercise is able to increase DHEA remains to be clarified.

### **Immune senescence and inflamm-aging**

One of the most known processes affected by aging is immunity. Immune system suffers reduction of its capacity even at lower years of the life. As a clear mark of the effect of aging, the innate immune system, based on non-specific response against pathogens increases whereas the adaptative system based on lymphocyte activity and antigen-dependent response, is reduced during aging. In this way, the inflammatory response increases during aging and produces several auto-immune diseases such as systemic arthritis, diabetes, lupus and other diseases and also increase the risk for infectious diseases and tumorigenesis. As a chronic disease, the increase of pro-inflammatory response in the organism during aging has been named as inflamm-aging<sup>34</sup>.

Some studies have shown that physical exercise does not result in major restoration of the senescent immune system in humans<sup>35</sup>. However, people that practice exercise for long time seem to have a relatively better preserved immune system. However, newer studies performed on clinical relevant models such as the response to vaccines and novel antigens that decreases due to immunosenescence, suggest that exercise can be used as therapy for restoring immune function in the elderly<sup>36</sup>. Long-term exercise protocols have been reported to improve antibody titer, T-cell function, macrophage response and alterations in the cytokine balance, pro-inflammatory cytokines and naive/memory cell ratio. These results indicate a general positive effect of exercise on immune system<sup>36</sup>.

As inflammation increases during aging, exercise training has been considered as treatment against chronic inflammation in the elderly<sup>37</sup>. In fact, several of the diseases linked to aging have been related to the increase of inflammatory cytokines such as C-reactive proteins and

other cytokines: metabolic syndrome and diabetes, osteoporosis, cardiovascular disease including atherosclerosis, hypertension, etc. In some cases, the cause and the consequence of this inflammatory process are confusing. For example, the accumulation of adipose tissue in obesity contributes to the production of TNF- $\alpha$ , IL-6, IL-1 receptor antagonist and C-reactive protein<sup>38</sup> whereas this pro-inflammatory status may contribute to insulin-resistance that produces fat accumulation. Studies performed in rats, have demonstrated that the practice of moderate exercise is enough to significantly reduce the inflammatory levels in these animals<sup>39</sup>. Recent studies have also demonstrated that the practice of mixed exercise, aerobic and resistive, in obese people together with the maintenance of diary activity produces a significant anti-inflammatory effect on these patients<sup>40</sup>. However, other studies indicate that resistance exercise training is able to reduce pro-inflammatory markers whereas aerobic exercise does not produce any effect<sup>41</sup>. As a mechanism of action it has been postulated that TNF- $\alpha$  is one of the responsible of insulin resistance. Exercise stimulates the production of IL-6 by muscle fibers that would stimulate the presence of anti-inflammatory cytokines such as IL1-ra and IL-10 in circulation that would inhibit the production of TNF- $\alpha$ . Decrease of TNF- $\alpha$  levels would then reduce its effect on insulin resistance<sup>38</sup> decreasing several of the deleterious effects related to higher levels of glucose in blood such as adipogenesis, atherosclerosis or liver adiposity.

Besides the increasing body of evidences indicating that the practice of exercise, even in older adults, improves immune system activity<sup>42</sup>, the mechanism by which this effect is produced remains to be elucidated. In some cases<sup>36</sup>, it has been suggested that hormones regulate the activity of the immune system<sup>43</sup>. In fact, the imbalance that is produced during aging in the ratio between cortisol and DHEA can be one of the factors involved in immunosenescence since they show opposite effects on immune function being DHEA immunostimulatory and cortisol immunoinhibitory. The increase of DHEA levels found in people that practice exercise<sup>30</sup> indicates that this would be the cause of the improvement in immune response found in active people.

### **Cardiovascular system**

Aging also affects cardiovascular system that result in alterations in cardiovascular physiology affecting mechanical and structural properties of the vascular wall. These modifications lead to the loss of arterial elasticity and an increase in stiffness of the arterial system. Arterial compliance is also reduced in aging-related disease states such as hypertension or diabetes<sup>44</sup>. Even more, coronary artery disease occurs with increasing frequency as age increases. The loss of elasticity results in increased overload on the left ventricle, increase in systolic blood pressure, and left ventricular hypertrophy and other changes in the left ventricular wall that prolong relaxation of the left ventricle in diastole. Furthermore, atrial pacemaker cells suffer a dropout resulting in the decrease in intrinsic heart rate. Finally, cardiac skeleton suffers calcification in the base of the aortic valve and  $\beta$ -adrenergic receptor reduces their responsiveness to neurotransmitters<sup>45</sup>. All these changes produce systolic hypertension, diastolic dysfunction and heart failure, defects in atrio-ventricular conduction and aortic valve calcification, all diseases have been seen in the elderly<sup>45</sup>.

There are several evidences that demonstrate a positive effect of exercise on cardiovascular dysfunction associated with aging or age-related diseases. Most of the clinical trials confirm that lifestyle interventions (dietary modification and increased physical activity)

reduce the risk of progressing or hypertension and improve endothelium-dependent dilatation in the aorta and resistance arteries of the heart. Moreover, short-term training is able to increase endothelial function in coronary conduit arteries<sup>46</sup>. In a study performed on middle-aged men during 33 years of physical training, the results demonstrated that exercise produced a favorable effect on cardiovascular system during aging reducing loss of oxygen uptake, no rise in resting blood pressure and not changes in body composition<sup>47</sup>. Moreover, chronic exercise also reduces the deficiency in the autonomic nervous system controlling cardiovascular system<sup>48</sup> and maintains the morphology and morphometry and number of cardiac neurons in Wistar rats<sup>49</sup>.

Regeneration of endothelial tissue also decreased during aging. Circulating endothelial progenitor cells (EPCs) contribute to the integrity of the endothelium and its function whereas cardiac stem cells (CSCs) can differentiate into cardiomyocytes, endothelial or smooth muscle cells in the heart. During aging, both EPCs and CSCs suffer a reduction in their number and functional capacity<sup>50</sup>. It has been suggested that regular physical activity can increase the activity of these cells during aging maintaining a higher ratio of cardiovascular tissues regeneration. This higher capacity of endothelial function can also improve neurological activity by increasing the metabolic support of some brain regions increasing regional capillary density<sup>51</sup>.

### **Neurological effects of exercise**

Although with a different sense that the currently known, the Roman poet Decimus Iunius Iuvenalis (Juvenal), wrote the sentence «mens sana in corpore sano» in its Satire X. The current use of this sentence is related to the beneficial effects of exercise on brain and several studies have demonstrated that the practice of exercise, especially in aged people, can produce beneficial effects on brain activity and delay the progression of known age-related neurodeficiencies such as Parkinson's or Alzheimer's diseases. In a recent revision, Dishman et al, indicate that recent evidences are accumulating about the protective benefits of physical activity in neurological diseases that aggravate during aging such as Parkinson's disease, Alzheimer's disease, and ischemic stroke<sup>52</sup>. In a recent work carried out with a significant human population it has been reported that the incidence rate of dementia in aged population practicing exercise almost 3 times per week was significantly lower 1.3% vs. 1.97% than in sedentary population<sup>53</sup>.

However, the main problem is to determine what kind of exercise and intensity is better to increase brain performance, memory or different brain activities. In a recent work Colcombe et al have reported that aerobic fitness training but not stretching and toning training affect brain volume in both gray and white matter and then, enhancing central nervous system function<sup>54</sup>.

Hippocampus is the main brain region involved in memory. Recently, Kramer group has shown that there is a triple relationship between higher levels of aerobic fitness, higher hippocampal volume and better memory function<sup>55</sup>. Exercise enhances proliferation of neural stem cells increasing neuronal reparation. At the same time exercise is able to increase neurite growth and the survival of neuronal progenitor cells in mice dentate gyrus of hippocampus<sup>56</sup>. Furthermore, continued exercise reduces the age-dependent decline in adult neurogenesis<sup>57</sup>. These results have demonstrated that the practice of physical activity might contribute to higher cerebral capacity during aging by increasing neurogenesis even in adults although the effect has been higher in young than in old animals<sup>58</sup>.

The mechanism by which exercise improves brain activity is not completely clear. Although only few factors have been already discovered, it has been demonstrated that exercise increases the levels of insulin growth factor-1 (IGF-1) in brain and this factor enhances the production of neurotrophic factors such as brain derived neurotrophic factor (BDNF). BDNF is one of the main factors involved in the complex activity of brain. Very interestingly, caloric restriction, the dietary manipulation able to increase both, mean life-span and maximum life, also affects both, IGF-1 and BDNF in brain<sup>59</sup>. BDNF is a factor that protects against neurodegeneration and modifies neuronal plasticity<sup>60</sup>. As in other systems involved in the decline of physiological activity during aging, BDNF also affects mitochondrial activity modifying brain metabolism<sup>61</sup>.

### **Molecular mechanisms involved in the effect of exercise on aging**

To explain how exercise produces the above described protective effects on aging we have to focus on the main factors involved in aging. However, to date there is not a theory that is generally accepted to explain aging. We know that accumulation of damage along life and the incapacity to remove damaged components of cells and tissues is directly related to the malfunction of cells and the deterioration of physiological functions that aggravates during aging. However, the main cause is not clear although oxidative stress and the effect of oxidized macromolecules seem to be one of the more accepted mechanisms. As mitochondria are the main ROS producers in the cell, growing dysfunction of mitochondria could explain most of the problems occurring during aging<sup>62</sup>.

Experiments carried out in mouse demonstrate that exercise is able to reduce the incidence of mitochondrial mutations that induce accumulation of dysfunctional mitochondria. Recently, several papers indicate that the exercise-dependent induction of mitochondrial biogenesis in muscle is able to protect muscle against mitochondrial damages<sup>63</sup>. Several factors are involved in mitochondrial biogenesis. They can be clustered in three main groups: ubiquitous transcription factors (SP1, YY1, CREB, MEF-2/E-Box), nuclear respiratory factors (NRF-1, -2, MT1- to -4) and co-activators (PGC-1 $\alpha$ , 1B and PRC)<sup>62</sup>. Other factors are also involved in the metabolic adaptation to fasting and energy requirements such as peroxisome proliferator activated receptor (PPAR) that together with PGC-1 $\alpha$  increase mitochondrial biogenesis.

The most recent results indicate that PGC-1 $\alpha$  is required for training-induced prevention of the decline in mitochondrial activity and expression of antioxidant enzymes in skeletal muscle<sup>64</sup>. Among the molecular components involved in mitochondrial turnover we found PGC-1 $\alpha$  as common component. Biogenesis of new mitochondria is stimulated by the PGC-1 $\alpha$ -NRF1 pathway. PGC-1 $\alpha$  is the first stimulator of mitochondrial biogenesis whereas NRF1 is an intermediate transcription factor which stimulates the synthesis of transcription factor A mitochondrial (TFAM). In mitochondria TFAM activates the duplication of mitochondrial DNA molecules. One of the reasons by which mitochondria activity decreases during aging is because this pathway is impaired<sup>65</sup>. Since aerobic exercise is able to activate mitochondriogenesis in young animals, activation of this system would be one of the mechanisms by which exercise increases muscle capacity and improves physiology of other organs during aging.

The modulation of mitochondrial activity is also related to the improvement of insulin resistance found after the practice of exercise. Regulation of the AKT/mTOR pathway by exercise improves endothelial

function and regulates muscle activities improving cell response<sup>66</sup> and reducing insulin resistance.

The response of the organism to environmental agents characterized by a low dose stimulation of beneficial effects whereas high doses produce toxic and also deleterious effects is called hormesis<sup>67</sup>. As in the case of ischemia, dietary restriction or low doses of phytochemicals, exercise also induces mild stress in the organism inducing stress-dependent signals that activate kinases, deacetylases and transcription factors such as Nrf-2 or NF- $\kappa$ B that increase the amount of protective and antioxidant proteins and the activity of reparation systems all kind of biomolecules including DNA and proteins. Long-term exercise training induces manganese-SOD (MnSOD) in heart of senescent rats<sup>68</sup>. The effect of exercise is not only focused on muscle but also can affect other organs such as kidney where exercise increase antioxidant defenses and decreases oxidative stress by activating Nrf-2-dependent mechanisms<sup>69</sup>. Or in the case of vascular system where the practice of exercise increases SOD activity, downregulates NADPH oxidase activity and reduces oxidative stress<sup>70</sup> improving endothelial function in the whole organism and cardiovascular system. This effect also involved protein turnover that removes and replaces damaged proteins avoiding one of the main causes of physiological impairment found in aging<sup>71</sup>.

### **Concluding remarks**

Several evidences indicate that maintaining physical activity at older ages would produce beneficial effects in the whole organism reducing the deleterious effects of physiological decline associated with aging and improving healthy aging. The practice of exercise is able to maintain cell physiology at higher levels improving the capacity of cells to eliminate damage in lipids, proteins and DNA. Maintenance of a balanced turnover of biomolecular components of cells would permit a higher capacity of cells, tissues and organs. Furthermore, mitochondria are also a key component in the improvement of body capacity induced by exercise or by caloric restriction that has demonstrated its positive effect on life-span. As the key component in cell bioenergetics, the maintenance of a balanced activity of mitochondria at older ages would be a key component in the increase of organs and systems activity during aging. The discovery of the molecular mechanisms involved in the effect of exercise or dietary restriction on healthy aging would permit us to design new therapies based on nutrition, pharmacology and exercise to increase the capacity of people during last years of the life. These therapies not only will affect humans as individuals but also will produce a higher social impact reducing the considerable cost of the treatments of chronic aging-related diseases.

### **Acknowledgements**

This work was supported by DEP2005-00238-C04-04 and DEP2009-12019 grants of the Ministerio de Ciencia e Innovación and by the IMD2010SC0002 grant of the Consejería de Turismo, Comercio y Deporte de la Junta de Andalucía.

### **References**

1. Davis T, Wyllie FS, Rokicki MJ, Bagley MC, Kipling D. The role of cellular senescence in Werner syndrome: toward therapeutic intervention in human premature aging. *Ann N Y Acad Sci.* 2007;1100:455-69.

2. Domínguez-Gerpe L, Araújo-Vilar D. Prematurely aged children: molecular alterations leading to Hutchinson-Gilford progeria and Werner syndromes. *Curr Aging Sci.* 2008;1:202-12.
3. Peake J, Della Gatta P, Cameron-Smith D. Aging and its effects on inflammation in skeletal muscle at rest and following exercise-induced muscle injury. *Am J Physiol.* 2010;298:R1485-95.
4. Jensen GL. Inflammation: roles in aging and sarcopenia. *J Parenter Enteral Nutr.* 2008;32:656-9.
5. Parise G, De Lisio M. Mitochondrial theory of aging in human age-related sarcopenia. *Interdiscip Top Gerontol.* 2010;37:142-56.
6. Hiona A, Sanz A, Kujoth GC, Pamplona R, Seo AY, Hofer T, et al. Mitochondrial DNA mutations induce mitochondrial dysfunction, apoptosis and sarcopenia in skeletal muscle of mitochondrial DNA mutator mice. *PLoS One.* 2010;5:e11468.
7. Jang YC, Lustgarten MS, Liu Y, Muller FL, Bhattacharya A, Liang H, et al. Increased superoxide in vivo accelerates age-associated muscle atrophy through mitochondrial dysfunction and neuromuscular junction degeneration. *FASEB J.* 2010;24:1376-90.
8. Safdar A, Bourgeois JM, Ogborn DI, Little JP, Hettinga BP, Akhtar M, et al. Endurance exercise rescues progeroid aging and induces systemic mitochondrial rejuvenation in mtDNA mutator mice. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2011; in press.
9. Puente-Maestu L, Lázaro A, Tejedor A, Camano S, Fuentes M, Cuervo M, et al. Effects of exercise on mitochondrial DNA content in skeletal muscle of patients with COPD. *Thorax.* 2011;66:121-7.
10. Schoutens A, Laurent E, Poortmans JR. Effects of inactivity and exercise on bone. *Sports Med.* 1989;7:71-81.
11. Chilibeck PD, Cornish SM. Effect of estrogenic compounds (estrogen or phytoestrogens) combined with exercise on bone and muscle mass in older individuals. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33:200-12.
12. Dwyer T, Magnussen CG, Schmidt MD, Ukoumunne OC, Ponsonby AL, Raitakari OT, et al. Decline in physical fitness from childhood to adulthood associated with increased obesity and insulin resistance in adults. *Diabetes Care.* 2009;32:683-7.
13. Amati F, Dube JJ, Coen PM, Stefanovic-Racic M, Toledo FG, Goodpaster BH. Physical inactivity and obesity underlie the insulin resistance of aging. *Diabetes Care.* 2009;32:1547-9.
14. Fulop T, Tessier D, Carpentier A. The metabolic syndrome. *Pathologie-Biologie.* 2006;54:375-86.
15. Ryan AS. Insulin resistance with aging: effects of diet and exercise. *Sports Med.* 2000;30:327-46.
16. Ryan AS. Exercise in aging: its important role in mortality, obesity and insulin resistance. *Aging Health.* 2010;6:551-63.
17. Ryan AS, Pratley RE, Goldberg AP, Elahi D. Resistive training increases insulin action in postmenopausal women. *J Gerontol.* 1996;51:M199-205.
18. Ryan DH. Diet and exercise in the prevention of diabetes. *Int J Clin Pract Suppl.* 2003;134:28-35.
19. Bloem CJ, Chang AM. Short-term exercise improves beta-cell function and insulin resistance in older people with impaired glucose tolerance. *J Clin Endocrinol Metabol.* 2008;93:387-92.
20. Hey-Mogensen M, Hojlund K, Vind BF, Wang L, Dela F, Beck-Nielsen H, et al. Effect of physical training on mitochondrial respiration and reactive oxygen species release in skeletal muscle in patients with obesity and type 2 diabetes. *Diabetologia.* 2010;53:1976-85.
21. Ritz P, Berrut G. Mitochondrial function, energy expenditure, aging and insulin resistance. *Diabetes Metabol.* 2005;31 Spec No 2:5567-73.
22. Lanza IR, Nair KS. Muscle mitochondrial changes with aging and exercise. *Am J Clin Nutr.* 2009;89:467S-71.
23. Enns DL, Tiidus PM. The influence of estrogen on skeletal muscle: sex matters. *Sports Med.* 2010;40:41-58.
24. Duckles SP, Krause DN, Stirone C, Procaccio V. Estrogen and mitochondria: a new paradigm for vascular protection? *Molec Interv.* 2006;6:26-35.
25. Schmitz KH, Lin H, Sammel MD, Gracia CR, Nelson DB, Kapoor S, et al. Association of physical activity with reproductive hormones: the Penn Ovarian Aging Study. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2007;16:2042-7.
26. Enea C, Boisseau N, Fargeas-Gluck MA, Diaz V, Dugue B. Circulating androgens in women: exercise-induced changes. *Sports Med.* 2011;41:1-15.
27. Safarinejad MR, Azma K, Kolahi AA. The effects of intensive, long-term treadmill running on reproductive hormones, hypothalamus-pituitary-testis axis, and semen quality: a randomized controlled study. *J Endocrinol.* 2009;200:259-71.
28. Hackney AC. Effects of endurance exercise on the reproductive system of men: the «exercise-hypogonadal male condition». *J Endocrinol Invest.* 2008;31:932-8.
29. Von Muhlen D, Laughlin GA, Kritz-Silverstein D, Barrett-Connor E. The Dehydroepiandrosterone And WellNess (DAWN) study: research design and methods. *Contemp Clin Trials.* 2007;28:153-68.
30. Ravaglia G, Forti P, Maioli F, Prатели L, Vettori C, Bastagli L, et al. Regular moderate intensity physical activity and blood concentrations of endogenous anabolic hormones and thyroid hormones in aging men. *Mech Aging Develop.* 2001;122:191-203.
31. Cumming DC, Brunsting IA, 3rd, Strich G, Ries AL, Rebar RW. Reproductive hormone increases in response to acute exercise in men. *Med Sci Sports Exerc.* 1986;18:369-73.
32. Aldred S, Rohalu M, Edwards K, Burns V. Altered DHEA and DHEAS response to exercise in healthy older adults. *J Aging Phys Act.* 2009;17:77-88.
33. Aizawa K, Iemitsu M, Maeda S, Otsuki T, Sato K, Ushida T, et al. Acute exercise activates local bioactive androgen metabolism in skeletal muscle. *Steroids.* 2010;75:219-23.
34. Giunta S. Exploring the complex relations between inflammation and aging (inflamm-aging): anti-inflamm-aging remodelling of inflamm-aging, from robustness to frailty. *Inflamm Res.* 2008;57:558-63.
35. Bruunsgaard H, Pedersen BK. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: effects of exercise on the immune system in the elderly population. *Immunol Cell Biol.* 2000;78:523-31.
36. Kohut ML, Senchina DS. Reversing age-associated immunosenescence via exercise. *Exerc Immunol Rev.* 2004;10:6-41.
37. Nicklas BJ, Brinkley TE. Exercise training as a treatment for chronic inflammation in the elderly. *Exerc Sport Sci Rev.* 2009;37:165-70.
38. Petersen AM, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol.* 2005;98:1154-62.
39. Belotto MF, Magdalon J, Rodrigues HG, Vinolo MA, Curi R, Pithon-Curi TC, et al. Moderate exercise improves leucocyte function and decreases inflammation in diabetes. *Clin Exp Immunol.* 2010;162:237-43.
40. Balducci S, Zanuso S, Nicolucci A, Fernando F, Cavallo S, Cardelli P, et al. Anti-inflammatory effect of exercise training in subjects with type 2 diabetes and the metabolic syndrome is dependent on exercise modalities and independent of weight loss. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2010;20:608-17.
41. Donges CE, Duffield R, Drinkwater EJ. Effects of resistance or aerobic exercise training on interleukin-6, C-reactive protein, and body composition. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42:304-13.
42. Senchina DS, Kohut ML. Immunological outcomes of exercise in older adults. *Clin Interv Aging.* 2007;2:3-16.
43. Buford TW, Willoughby DS. Impact of DHEA(S) and cortisol on immune function in aging: a brief review. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33:429-33.
44. Jani B, Rajkumar C. Ageing and vascular ageing. *Postgrad Med J.* 2006;82:357-62.
45. Cheitlin MD. Cardiovascular physiology-changes with aging. *Am J Geriatr Cardiol.* 2003;12:9-13.
46. Yung LM, Laher I, Yao X, Chen ZY, Huang Y, Leung FP. Exercise, vascular wall and cardiovascular diseases: an update (part 2). *Sports Med.* 2009;39:45-63.
47. Kasch FW, Boyer JL, Schmidt PK, Wells RH, Wallace JP, Verity LS, et al. Ageing of the cardiovascular system during 33 years of aerobic exercise. *Age Ageing.* 1999;28:531-6.
48. Wichi RB, De Angelis K, Jones L, Irigoyen MC. A brief review of chronic exercise intervention to prevent autonomic nervous system changes during the aging process. *Clinics.* 2009;64:253-8.
49. Gama EF, Santarem JM, Liberti EA, Jacob Filho W, Souza RR. Exercise changes the size of cardiac neurons and protects them from age-related neurodegeneration. *Ann Anat.* 2010;192:52-7.
50. Thijssen DH, Torella D, Hopman MT, Ellison GM. The role of endothelial progenitor and cardiac stem cells in the cardiovascular adaptations to age and exercise. *Front Biosci.* 2009;14:4685-702.
51. Anderson BJ, Greenwood SJ, McCloskey D. Exercise as an intervention for the age-related decline in neural metabolic support. *Front Aging Neurosci.* 2010;2:30.
52. Dishman RK, Berthoud HR, Booth FW, Cotman CW, Edgerton VR, Fleshner MR, et al. Neurobiology of exercise. *Obesity.* 2006;14:345-56.
53. Larson EB, Wang L, Bowen JD, McCormick WC, Teri L, Crane P, et al. Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older. *Annals Intern Med.* 2006;144:73-81.
54. Colcombe SJ, Erickson KI, Scalf PE, Kim JS, Prakash R, McAuley E, et al. Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *J Gerontol.* 2006;61:1166-70.
55. Erickson KI, Prakash RS, Voss MW, Chaddock L, Hu L, Morris KS, et al. Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus.* 2009;19:1030-9.
56. Wu CW, Chang YT, Yu L, Chen HI, Jen CJ, Wu SY, et al. Exercise enhances the proliferation of neural stem cells and neurite growth and survival of neuronal progenitor cells in dentate gyrus of middle-aged mice. *J Appl Physiol.* 2008;105:1585-94.
57. Kronenberg G, Bick-Sander A, Bunk E, Wolf C, Ehninger D, Kempermann G. Physical exercise prevents age-related decline in precursor cell activity in the mouse dentate gyrus. *Neurobiol Aging.* 2006;27:1505-13.
58. Kim YP, Kim H, Shin MS, Chang HK, Jang MH, Shin MC, et al. Age-dependence of the effect of treadmill exercise on cell proliferation in the dentate gyrus of rats. *Neurosci Lett.* 2004;355:152-4.
59. Fontán-Lozano A, López-Lluch G, Delgado-García JM, Navas P, Carrión AM. Molecular bases of caloric restriction regulation of neuronal synaptic plasticity. *Mol Neurobiol.* 2008;38:167-77.



60. Duan W, Guo Z, Jiang H, Ware M, Mattson MP. Reversal of behavioral and metabolic abnormalities, and insulin resistance syndrome, by dietary restriction in mice deficient in brain-derived neurotrophic factor. *Endocrinology*. 2003;144:2446-53.
61. Markham A, Cameron I, Franklin P, Spedding M. BDNF increases rat brain mitochondrial respiratory coupling at complex I, but not complex II. *Europ J Neurosci*. 2004;20:1189-96.
62. López-Lluch G, Irusta PM, Navas P, de Cabo R. Mitochondrial biogenesis and healthy aging. *Exp Gerontol*. 2008;43:813-9.
63. Wenz T, Díaz F, Hernández D, Moraes CT. Endurance exercise is protective for mice with mitochondrial myopathy. *J Appl Physiol*. 2009;106:1712-9.
64. Leick L, Lyngby SS, Wojtaszewski JF, Pilegaard H. PGC-1alpha is required for training-induced prevention of age-associated decline in mitochondrial enzymes in mouse skeletal muscle. *Exp Gerontol*. 2010;45:336-42.
65. Viña J, Gómez-Cabrera MC, Borrás C, Froio T, Sanchís-Gomar F, Martínez-Bello VE, et al. Mitochondrial biogenesis in exercise and in ageing. *Adv Drug Deliv Rev*. 2009;61:1369-74.
66. Fujita S, Rasmussen BB, Cadenas JG, Drummond MJ, Glynn EL, Sattler FR, et al. Aerobic exercise overcomes the age-related insulin resistance of muscle protein metabolism by improving endothelial function and Akt/mammalian target of rapamycin signaling. *Diabetes*. 2007;56:1615-22.
67. Mattson MP. Hormesis defined. *Ageing research reviews*. 2008;7:1-7.
68. Lawler JM, Kwak HB, Kim JH, Suk MH. Exercise training inducibility of Mn-SOD protein expression and activity is retained while reducing prooxidant signaling in the heart of senescent rats. *Am J Physiol*. 2009;296:R1496-502.
69. George L, Lokhandwala MF, Asghar M. Exercise activates redox-sensitive transcription factors and restores renal D1 receptor function in old rats. *Am J Physiol*. 2009;297:F1174-80.
70. Durrant JR, Seals DR, Connell ML, Russell MJ, Lawson BR, Folian BJ, et al. Voluntary wheel running restores endothelial function in conduit arteries of old mice: direct evidence for reduced oxidative stress, increased superoxide dismutase activity and down-regulation of NADPH oxidase. *J Physiol*. 2009;587:3271-85.
71. Vaanholt LM, Speakman JR, Garland Jr., T, Lobley GE, Visser GH. Protein synthesis and antioxidant capacity in aging mice: effects of long-term voluntary exercise. *Physiol Biochem Zool*. 2008;81:148-57.



## Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2010;4(2):84-88  
www.elsevier.es/ramd



### Revisión

## Bases fisiológicas comunes para deportes de equipo

N. Terrados<sup>a</sup>, J. Calleja-González<sup>b</sup> y X. Schelling<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Unidad Regional de Medicina Deportiva del Principado de Asturias, Fundación Deportiva Municipal de Avilés, y Departamento de Biología Funcional. Universidad de Oviedo. Asturias. España.

<sup>b</sup>Laboratorio de Rendimiento Humano. Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad del País Vasco. Vitoria. Álava. España.

<sup>c</sup>Club Baloncesto Manresa. Barcelona. España.

#### Historia del artículo:

Recibido el 19 de enero de 2011  
Aceptado el 21 de marzo de 2011

#### Palabras clave:

Fisiología.  
Deportes de equipo.

#### Key words:

Physiology.  
Team sports.

### RESUMEN

El modelo de ejercicio en deportes de equipo se identifica con la capacidad de repetir *sprints* múltiples, concepto conocido en la literatura internacional como *repeated sprint ability* (RSA), ampliamente abordado en los últimos años. Igualmente, los estudios que relacionan el efecto de la carga en competición evidencian que el uso del metabolismo glucolítico, tanto aeróbico como anaeróbico, parece tener una importancia mayor de la que se pensaba hasta ahora. Su estudio puede aportar información práctica para ajustar las cargas de entrenamiento, conocer la situación metabólica de cada jugador durante la competición y para diseñar estrategias nutricionales y de recuperación de la fatiga.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### ABSTRACT

#### Physiological common bases for team sports

The model of exercise in team sports identifies with the aptitude to repeat multiple sprints, concept known in the international literature as repeated sprint ability (RSA), which has been widely approached in the last years. Equally, the studies that relate the effect of the competitive load demonstrated that the use of the glycolytic metabolism, both aerobic and anaerobic, plays a major importance of which it was thought still now. Its study can contribute practical information to fit the of training loads, to know the metabolic situation of every player during the competition and to design nutritional strategies and the recovery of the fatigue.

© 2011 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

#### Correspondencia:

N. Terrados Cepeda.  
Fundación Deportiva Municipal. Unidad Regional  
del Deporte. Complejo Deportivo Avilés.  
C/ Juan XXIII, 42.  
33401 Avilés, Asturias.  
Correo electrónico: nterrados@ayto-aviles.es

## Introducción

Los deportes de equipo son una de las prácticas deportivas más importantes a nivel mundial<sup>1</sup>. De ellas, el baloncesto, el balonmano y sobre todo el fútbol (*soccer*) son un fenómeno social y, probablemente este último, el deporte más popular en el mundo<sup>2</sup>. El impacto en la sociedad ha permitido que en los últimos años se haya visto incrementado el nivel de trabajos científicos que definen el perfil del jugador<sup>3</sup>. La liga profesional americana NBA (EE.UU.) está considerada la mejor liga de baloncesto en el mundo<sup>1</sup>, pero también en los otros continentes<sup>4</sup>. Además, los deportes de equipo participan en torneos internacionales como campeonatos continentales y mundiales y en los juegos olímpicos<sup>5</sup>.

En las dos décadas pasadas, se han publicado numerosos estudios científicos que analizan la fisiología y la medicina en deportes de conjunto: en baloncesto<sup>6-10</sup>, en fútbol<sup>11-14</sup>, por poner algunos ejemplos de dos de los más característicos, aunque el volumen de literatura con relación a estos deportes sea sustancialmente menor que en los deportes individuales, como el atletismo y el ciclismo<sup>15</sup>. Las últimas revisiones sobre los deportes mencionados nos permiten tener un conocimiento más preciso sobre las características físicas y fisiológicas de los jugadores de deportes de equipo<sup>16,17</sup>. Por lo tanto el objetivo de esta revisión es aportar información práctica para ajustar las cargas de entrenamiento, conocer la situación metabólica de cada jugador durante la competición, y diseñar estrategias nutricionales y de recuperación de la fatiga.

## Bases fisiológicas

Los deportes de conjunto se caracterizan por ser acíclicos, con intervalos y discontinuos. Requieren mantener la capacidad tanto aeróbica, como anaeróbica, durante los 40 minutos de juego<sup>18</sup> o, en fútbol, durante 90 minutos. Esto exige combinar actividades físicas de intensidad baja (la carrera de baja velocidad) con intensidad alta (*sprints*, saltos ...). Los parámetros antropométricos y los altos niveles de fuerza, potencia y velocidad de lanzamiento son los aspectos de mayor importancia para obtener ventaja, para el éxito en los jugadores de elite<sup>19</sup>.

En este tipo de deportes en particular (de salón), los jugadores cubren aproximadamente 4.500-5.000 m con una variedad de movimientos multidireccionales como la carrera, el *dribbling* y se resuelven las acciones con velocidades variables y numerosos saltos<sup>20</sup>.

Los deportes al aire libre como el fútbol o el hockey, desde una perspectiva fisiológica, se caracterizan por recorrer largas distancias durante el partido (8-12 km), pero igualmente con actividad variable (> 800 acciones de cambio durante el partido, incluyendo andar, trotar, esprintar, saltar, golpear<sup>3</sup>).

En el año 2000, el tiempo de juego en posesión en baloncesto experimentó un cambio sustancial al reducirse de 30 a 24 segundos por el reglamento de la Federación Internacional de Baloncesto (FIBA). Además, el tiempo total del juego se dividió en cuatro cuartos en vez de las dos mitades originales, si bien la duración total se mantuvo en 40 minutos. Esto, teóricamente, podría aumentar en un 20% el número de las acciones<sup>21</sup>, dado que en el baloncesto por ejemplo, varios componentes condicionales podrían ser afectados en diferente grado comparado con el fútbol y el balonmano, debido a las diferencias del modelo de movimiento complicado en estos deportes<sup>22</sup>.

El perfil fisiológico y condicional de los jugadores de deportes de equipo puede ser caracterizado por la heterogeneidad expresada dentro de los equipos, entre jugadores y entre diferentes nacionalidades<sup>6</sup>. De

hecho, algunos estudios describen deportistas de países diferentes con tradición en baloncesto: jugadores serbios<sup>1</sup>, franceses<sup>9</sup>, israelíes<sup>23</sup> y también, jugadores de países en los que el baloncesto no es un deporte tradicional, como jugadores indios<sup>24,25</sup>.

Igualmente, se ha descrito que las capacidades físicas de los deportistas pueden ser uno de los factores esenciales que hayan contribuido al éxito de los jugadores en competiciones internacionales<sup>26</sup>, pero es difícil encontrar variables específicas fisiológicas que presenten correlación con el éxito<sup>1</sup>.

En los deportes de equipo, uno de los factores más importantes en el rendimiento deportivo es la recuperación (R) de la fatiga (F) después del entrenamiento o la competición, especialmente en modalidades en las que los deportistas entrenan o compiten en ocasiones, el mismo día o en días sucesivos, con poco tiempo para su R. En estos casos, los deportistas que recuperen más rápido su nivel de F, tendrán una mayor ventaja para su rendimiento. Para recuperarse fisiológicamente en un deporte, es necesario el conocimiento de la respuesta fisiológica de dicho deporte<sup>27</sup>.

A pesar de que los deportistas utilizan más tiempo en su R durante la competición en comparación con el entrenamiento<sup>28</sup>, a fecha de hoy se ha investigado muy poco en este campo. Sin embargo, en los últimos años y con los actuales modelos de competición deportiva, se han considerado de gran importancia todos los aspectos relacionados con la R de la F del deportista. La R de la F deportiva se realiza muchas veces por medio de complejos procesos de síntesis proteica. Por ello, es determinante mantener el contenido muscular y los niveles sanguíneos de diversos aminoácidos que sirven de sustrato para la biosíntesis de nuevas proteínas<sup>27</sup>.

El proceso de R está influenciado por infinidad de elementos. Uno de los más importantes es la nutrición. Pero su eficacia depende de numerosas variables como: la propia competición, el sexo, el nivel de entrenamiento y el estado nutricional del sujeto<sup>29</sup>. Se considera fundamental el conocer el tipo de F que tiene el deportista para ayudar a su R<sup>27</sup>. Así por ejemplo, de nada sirve utilizar estrategias para una R rápida del glucógeno muscular (estrategias muy estudiadas a nivel científico), si la F del deportista no se debe a esa causa<sup>30</sup>.

Otro aspecto fundamental es el mantenimiento de una adecuada síntesis proteica, así como el evitar y controlar el daño muscular<sup>31</sup>. Además, gracias a estudios recientes, se da mucha importancia al mantenimiento de una correcta respuesta inmunológica durante y después del ejercicio, especialmente si es de alta intensidad y duración<sup>32</sup>.

## Tipos de fatiga y mecanismos de producción

Como se mencionó anteriormente, para una correcta R del deportista, se considera fundamental el conocer el tipo de F que tiene y los mecanismos que la producen. En los últimos años, la F deportiva se ha clasificado de forma muy esquemática, pero igualmente práctica, en dos tipos:

- Fatiga central
- Fatiga periférica

Con el conocimiento científico actual, los principales mecanismos de producción de fatiga son<sup>27</sup>:

- 1) Depleción de sustratos: glucógeno, ATP-PCr.
- 2) Acúmulo de metabolitos: hidrogeniones, lactato, fósforo inorgánico, NH<sub>4</sub>.
- 3) Incremento de la temperatura central.

- 4) Daño muscular inducido por ejercicio.
- 5) Alteraciones hidroelectrolíticas (H<sub>2</sub>O, Na, K, etc.).
- 6) Modificaciones en los aminoácidos ramificados.
- 7) Radicales libres.

Y además, habría que tener en cuenta, como mecanismo potenciador, la disminución de los niveles de inmunidad. Por tanto, las estrategias para ayudar a la R de la F del deportista dependerán del mecanismo que ha causado la F. A continuación expondremos estas estrategias, en función del mecanismo de producción de F.

En los deportes de equipo, la F ha sido muy poco estudiada, a pesar de ello, en baloncesto, fútbol y balonmano, bien sean modalidades de salón o al aire libre, existen una serie de mecanismos de F comunes a todos ellos, por lo que se pueden tener también estrategias comunes para contrarrestarla. En balonmano por ejemplo, recientes investigaciones están analizando la F de la competición en deportistas de países escandinavos<sup>33</sup>. Algunas conclusiones obtenidas nos pueden ayudar a entender mecanismos de actuación comunes a todos ellos.

### Aspectos fisiológicos comunes en deportes de equipo y su relación con la fatiga

#### Carga externa

Como en la mayoría de los deportes de situación, la clasificación de los deportes de conjunto en función del sistema metabólico preferente, esta aún en proceso de estudio<sup>34</sup>.

En una descripción básica del juego, podemos observar que la intensidad en deportes de equipo como el fútbol, hockey al aire libre o baloncesto y balonmano en salón, es intermitente: Por este motivo, algunos autores han considerado en origen un deporte mixto aeróbico-anaeróbico, con acciones de alta intensidad intercaladas con momentos de recuperación y pausa<sup>35</sup>. En los últimos años, y sobre todo desde la modificación del tiempo de posesión a 24 segundos en baloncesto, el nivel de exigencia física se ha incrementado significativamente<sup>21</sup>.

Teniendo en cuenta que en el baloncesto se desarrollan alrededor de 1.000 acciones por partido<sup>21</sup> y que presentan una duración media de entre 2 y 5 segundos<sup>18</sup>, parece evidente, que a mayor capacidad de repetir esfuerzos cortos de alta, o muy alta intensidad, mejores prestaciones tendrán el jugador y el equipo. El mismo patrón observamos al aire libre, donde los jugadores recorren entre 8 y 12 km por partido en fútbol, pero también con patrones de actividad variable, con más de 800 actividades de cambio de intensidad, que incluyen andar, saltar, correr, y desplazarse con cambios de dirección<sup>36</sup>. Esta capacidad de repetir *sprints* múltiples, es conocida en la literatura internacional como *repeated sprint ability* (RSA), y ha sido ampliamente abordada en los últimos años<sup>37</sup>.

Por otro lado, la intensidad del juego puede variar en un mismo equipo o entre diferentes equipos. Diversos factores pueden modular dicha intensidad<sup>38</sup>: los principios tácticos establecidos por el entrenador (por ejemplo, priorizar el contraataque o el juego posicional), el nivel del oponente (a mejores rivales, mayor exigencia), la situación del partido (diferencias de marcador, final de partido, etc.), el nivel técnico del jugador (a mayor técnica, más eficiencia y menor gasto energético), el estado físico del jugador y del equipo, la motivación, etc.

Según González Badillo et al<sup>39</sup>, la carga que soportan los jugadores, ya sea en un entrenamiento o durante una competición, es el *conjunto de exigencias psicológicas y biológicas (carga interna o real) provocadas por las*

*actividades de entrenamiento [o competición] (carga externa o propuesta)*. En deportes de conjunto disponemos de estudios que relacionan el efecto de la carga externa sobre las variables de carga internas<sup>10</sup>.

#### Carga interna

Los primeros trabajos que evaluaron la respuesta metabólica en competición, de diferentes deportes de equipo (baloncesto, balonmano y fútbol), no obtuvieron unos resultados muy claros, debido en gran parte a la dificultad de valorar el metabolismo energético durante la competición. En algunos casos, los investigadores pudieron obtener muestras de sangre venosa periférica, en la que observaron unas concentraciones de lactato sanguíneo alrededor de 4 mmol/l. En consecuencia quedaron clasificados desde el punto de vista fisiológico como unas actividades anaeróbicas, fundamentalmente de carácter aláctico, con una base aeróbica media.

Recientemente, algunas investigaciones muestran concentraciones de lactato en competición en estos deportes, en torno a los 6-8 mmol/l, o incluso valores más altos en jugadores profesionales de la liga de la Asociación de Clubes de Baloncesto (ACB), campeones de la Euroliga (Terrados y Tramullas. Comunicación personal, 2003), lo que nos hace reflexionar sobre la intervención del metabolismo láctico en competición y deja abierta una nueva línea de investigación en este campo.

En balonmano, desde los estudios clásicos<sup>40</sup>, se han observado valores de lactato (4-9 mmol/l) similares a los obtenidos en baloncesto de elite. Posteriormente se observó<sup>41</sup> que los jugadores de balonmano de alto nivel, tenían valores fisiológicos más parecidos a *sprinters* que a corredores de fondo.

Esto nos orientaba a pensar en una respuesta fisiológica (y dotación genética) similar a la de los jugadores de baloncesto de elite y, posiblemente, a los de fútbol, con lo que tendrían un metabolismo glucolítico y anaeróbico predominante. Investigaciones posteriores<sup>42</sup> han mostrado en jugadores de balonmano una gran capacidad glucolítica y anaeróbica, lo que confirma los planteamientos anteriores.

La competición en balonmano mantiene unos niveles muy altos de intensidad fisiológica (ya descritos en 1996)<sup>43</sup>. Además, en balonmano, al igual que se ha observado en baloncesto, es en los ejercicios específicos con balón donde se alcanzan niveles más similares a la competición, sin ser tan parecidos los ejercicios inespecíficos sin balón<sup>44</sup>. También se observó que en los entrenamientos no se alcanzaban los niveles de intensidad fisiológica de la competición, lo que también queda justificado en los entrenamientos de baloncesto de alto nivel<sup>45</sup>. En consecuencia, diferentes autores postulan que los niveles de intensidad de los entrenamientos de balonmano (y los otros deportes de equipo) deberían ser de intensidades altas, similares a la competición<sup>46</sup>, en los que estén presentes entrenamientos de carrera específica de alta intensidad y entrenamiento de fuerza dirigido.

Datos similares se han obtenido en fútbol, si bien hay que destacar que investigadores del grupo de J. Bangsbo han podido cuantificar el vaciamiento de los depósitos de glucógeno durante un partido, observando una bajada en dichos depósitos mayor de lo esperado, lo que implica una gran utilización del metabolismo glucolítico<sup>47,48</sup>.

A todo lo anteriormente expuesto hay que añadir la variable del *puesto*, ya que en deportes de conjunto, en función del puesto de juego la carga fisiológica es diferente. Rodríguez-Alonso et al<sup>45</sup> obtuvieron diferencias significativas entre los diferentes puestos ocupados en la pista (base con respecto a aleros y pivots) en un grupo de jugadoras internacionales de baloncesto. En nuestra opinión, la especialización del puesto

en la cancha define el perfil fisiológico del jugador al mostrar grandes diferencias en las concentraciones de lactato observadas en cada puesto. Además, como es lógico, si se permiten cambios influirá en el tiempo de juego. También comprobaron un comportamiento fisiológico de los valores de lactato en función del tiempo jugado en la pista: los jugadores que más tiempo jugaban obtenían las mayores concentraciones de lactato. Al observar dichos niveles de lactato obtenidos en los estudios mencionados anteriormente y otros trabajos del grupo de Bangsbo<sup>47,48</sup>, podríamos deducir que en estos deportes de equipo hay una gran implicación del metabolismo glucolítico, tanto anaeróbico como aeróbico y que la vía glucolítica aeróbica goza de un importante protagonismo, a pesar de que las numerosas interrupciones existentes durante el juego, los periodos de descanso, así como la posibilidad de que los jugadores sean sustituidos frecuentemente, podrían facilitar el aclaramiento del lactato sanguíneo, dando lugar a unos niveles más bajos de lactato de los esperados en función de la velocidad y frecuencia cardíaca de juego, coincidiendo con lo descrito<sup>49</sup>, a través de sus estudios de frecuencia cardíaca, que también han sugerido que la contribución de la vía glucolítica es mucho mayor de la que previamente había sido estimada.

Por otro lado, el acúmulo de temperatura es otro factor a tener en cuenta. El ejercicio físico intenso puede causar un aumento de la temperatura central (Tn) por encima de los 39 °C (hipertermia), lo cual puede inducir fatiga central, alterar la actividad del área pre-frontal cerebral<sup>50</sup> y además reducir el tiempo hasta el agotamiento durante el ejercicio en ambiente caluroso<sup>51</sup>. Durante el ejercicio, la Tn es proporcional a la actividad de metabolismo energético, independientemente de las condiciones medioambientales.

Igualmente, la hipertermia incrementa el estrés oxidativo y de forma selectiva afecta específicamente a los marcadores lipídicos, con independencia del consumo de oxígeno en humanos<sup>52</sup>. En deportes de conjunto se ha analizado este fenómeno en investigaciones muy recientes que demuestran que en los partidos de fútbol jugados en estrés medioambiental con altas temperatura y humedad, el rendimiento físico puede decrecer en la medida en la que dicho estrés se manifiesta<sup>53</sup>.

Cada vez se da más importancia al daño muscular inducido por el ejercicio intenso y la competición deportiva y su posterior resíntesis. Estos procesos de reparación muscular son conectivo, colágeno y en proteínas musculares. Se han estudiado muchas estrategias poscompetición para reducirlo, pero el problema radica en que la mayoría de los estudios se realizan con sujetos no entrenados y con poco número de participantes, lo que no permite extrapolar la información a los deportistas de élite<sup>54</sup>. A pesar de ello, algunos estudios realizados con deportistas altamente entrenados en deportes de equipo como el baloncesto, demuestran que el daño muscular inducido por la competición se manifiesta de forma significativa, y las enzimas musculares se ven claramente alteradas<sup>54</sup>. También sucede en estudios sobre el fútbol<sup>55</sup>.

La deshidratación, como consecuencia de las alteraciones hidroelectrolíticas, está directamente relacionada con la reducción de la capacidad de ejercicio, al incrementar la percepción de esfuerzo, y deteriorar el rendimiento mental y el rendimiento de las acciones del juego<sup>56</sup>, en deportes como el fútbol. Pueden intervenir también otros mecanismos de F central relacionados con los neurotransmisores y la hiponatremia<sup>57</sup>.

Como consecuencia del ejercicio muscular, resulta un incremento en la producción de radicales libres. En los últimos años han sido publicados numerosos estudios científicos<sup>58,59</sup> para evaluar la respuesta del estrés oxidativo como consecuencia del ejercicio. En dos estudios recientes con ciclistas altamente entrenados, se evaluó la influencia de la alta intensidad en marcadores de estrés oxidativo, en los que se observó un incre-

mento significativo de la concentración en plasma de malondialdeído y del estatus antioxidante general<sup>60</sup>, además de vitaminas E y C<sup>61</sup>, lo que requiere una adecuada suplementación con antioxidantes<sup>62</sup>, a pesar de que para el entrenamiento y la competición se concluye que en función del tipo y duración de la prueba se observan diferentes efectos en la actividad de enzimas antioxidantes eritrocitarias y de estrés oxidativo<sup>63</sup>.

En un interesante trabajo se examinaron los efectos del ejercicio agudo en los sistemas antioxidantes de diferentes deportistas de equipo (n = 6), jugadores de waterpolo (n = 20), jugadores de hockey (n = 22), de baloncesto (n = 24), y un grupo control sedentario (n = 10 mujeres y n = 9 hombres). Los autores concluyeron que se observan cambios en los sistemas antioxidantes primarios, los cuales son específicos del deporte, y además diferentes respecto al grupo control. De los resultados se deduce que el estatus redox sanguíneo debiera ser considerado en deportes de conjunto. Sin embargo, la importancia y el efecto de estos radicales aumentados no están claramente definidos. Por lo que no está claro el papel de estos radicales libres y la necesidad o no de suplementar al deportista con antioxidantes.

Por último, cabe mencionar que como consecuencia de practicar ejercicio intenso, se produce una inmunodepresión transitoria. Esta «disminución» es especialmente evidente durante las 2–24 h posteriores al ejercicio intenso, dependiendo de la intensidad y duración<sup>64</sup>. Este fenómeno se ha descrito recientemente en deportes de equipo, donde en una situación de estrés durante en competiciones de alto nivel se observan disminuciones significativas del nivel de inmunoglobulina A en saliva, lo que influye en la protección inmune de los deportistas.

## Conclusiones y reflexiones finales

En un análisis del modelo de ejercicio en deportes de equipo, queda patente la importancia de la capacidad de repetir *sprints* múltiples. Igualmente ya disponemos de estudios que relacionan el efecto de la carga externa sobre las variables de carga interna. Parece evidente que el uso del metabolismo glucolítico, ya sea aeróbico ya sea anaeróbico, tiene, en los deportes de equipo de alto nivel, una importancia mayor de la que se pensaba hasta ahora. El vaciamiento del sustrato energético de este metabolismo glucolítico (el glucógeno) implicará situaciones de F muscular. Su estudio puede aportar información práctica para ajustar las cargas de entrenamiento, conocer la situación metabólica de cada jugador durante el entrenamiento y la competición y para diseñar estrategias nutricionales y de R de la F.

Si además, la competición se produce en estrés medioambiental con temperaturas altas y humedad elevada, el rendimiento físico puede disminuir por fatiga central. Queda constatado que la deshidratación está directamente relacionada con la reducción de la capacidad de ejercicio, al incrementar la percepción de esfuerzo, y deteriorar el rendimiento mental y el rendimiento de las acciones del juego. También, como consecuencia del ejercicio muscular intenso, se produce un incremento en la producción de radicales libres y una inmunodepresión transitoria.

## Bibliografía

1. Ostojic SM, Mazic S, Dikic N. Profiling in basketball: physical and physiological characteristics of elite players. *J Strength Cond Res.* 2006;20:740-4.
2. www.fifa.com. [Consultado: 21/03/2011].
3. Ekblom B. Applied physiology of soccer. *Sports Medicine.* 1986;3:50-60.
4. Ziv G, Lidor R. Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players. *Sports Med.* 2009;39:547-68.

5. Lidor R, Blumenstein B, Tenenbaum G. Psychological aspects of training in European basketball: conceptualization, periodization, and planning. *Sport Psychologist*. 2007;21:353-67.
6. Bolonchuk W, Lukaski H, Siders W. The structural, functional and nutritional adaptations of college basketball players over a season. *J Sports Med Phys Fit*. 1991;31:165-72.
7. Gillam GM. Identification of anthropometric and physiological characteristics relative to participation in college basketball. *NSCA J*. 1985;7:34-6.
8. Hoffman JR, Fry AC, Howard R, Maresh CM, Kraemer WJ. Strength, speed, and endurance changes during the course of a division I basketball season. *J Appl Sport Sci Res*. 1991;5:144-9.
9. Sallet P, Perrier D, Ferret JM, Vitelli V, Baverel G. Physiological differences in professional basketball players as a function of playing position and level of play. *J Sports Med Phys Fitness*. 2005;45:291-4.
10. Narazaki K, Berg K, Stergiou N, Chen B. Physiological demands of competitive basketball. *Scand J Med Sci Sports*. 2009;19:425-32.
11. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer. An update. *Sports Med*. 2005;35:501-36.
12. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci*. 2000;18:669-83.
13. Mohr M, Kustrup P, Bangsbo J. Match activities of elite women soccer players at different performance level. *J Strength Cond Res*. 2008;22:2027-35.
14. Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, Drust B. Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *Int J Sports Med*. 2009;30:205-12.
15. Drinkwater EJ, Pyne DB, McKenna MJ. Design and interpretation of anthropometric and fitness testing of basketball players. *Sports Med*. 2008;38:565-78.
16. Davis JA, Brewer J. Applied physiology of female soccer players. *Sports Med*. 1993;16:180-9.
17. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med*. 2005;35:1025-44.
18. McInnes SE, Carlson JS, Jones CJ, McKenna MJ. The physiological load imposed on basketball players during competition. *J Sports Sci*. 1995;13:387-97.
19. Granados C, Izquierdo M, Ibáñez J, Ruesta M, Gorostiaga EM. Effects of an entire season on physical fitness in elite female handball players. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40:351-61.
20. Crisafulli A, Melis F, Tocco F, Laconi P, Lai C, Concu A. External mechanical work versus oxidative energy consumption ratio during a basketball field test. *J Sports Med Phys Fitness*. 2002;42:409-17.
21. Cormery B, Marcil M, Bouvard M. Rule change incidence on physiological characteristics of elite basketball players: a 10-year-period investigation. *Br J Sports Med*. 2008;42:25-30.
22. Matthew D, Delextrat A. Heart rate, blood lactate concentration and time-motion analysis of female basketball players during competition. *J Sports Sci*. 2009;27:813-21.
23. Hoffman J, Epstein S, Yarom I, Zigel L, Einbinder M. Hormonal and biochemical changes in elite basketball players during a 4-week training camp. *J Strength Cond Res*. 1999;13:280-5.
24. Sodhi HS. Kinanthropometry and performance of top ranking Indian basketball players. *Br J Sports Med*. 1980;14:139-44.
25. Bhanot JL, Sidhu LS. Maximal anaerobic power in national level Indian players. *Br J Sports Med*. 1981;15:265-8.
26. Ostojic SM, Mazic S, Dikic N. Anthropomorphological characteristics of elite Serbian Basketball players. *Sportska Med*. 2003;3:83.
27. Terrados Cepeda N, Mora-Rodríguez R, Padilla Magunacelaya S. La recuperación de la fatiga del deportista. Madrid: Editorial Gymnos; 2004.
28. Bishop PA, Jones E, Woods AK. Recovery from training: a brief review. *J Strength Cond Res*. 2008;22:1015-24.
29. Campbell B, Kreider RB, Ziegenfuss T, La Bounty P, Roberts M, Burke D, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr*. 2007;26:4-8.
30. Fernández-García B, Terrados Cepeda N. La fatiga del deportista. Madrid: Editorial Gymnos; 2004.
31. De Bock K, Derave W, Eijnde BO, Hesselink MK, Koninckx E, Rose AJ, et al. Effect of training in the fasted state on metabolic responses during exercise with carbohydrate intake. *J Appl Physiol*. 2008;104:1045-55.
32. Moreira A, Arsati F, Cury PR, Franciscon C, Simões AC, De Oliveira PR, et al. The impact of a 17-day training period for an international championship on mucosal immune parameters in top-level basketball players and staff members. *Eur J Oral Sci*. 2008;116:431-7.
33. Thorlund JB, Michalsik LB, Madsen K, Aagaard P. Acute fatigue-induced changes in muscle mechanical properties and neuromuscular activity in elite handball players following a handball match. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18:462-72.
34. Calleja J, Lekue JA, Leibar X, Seco J, Terrados N. Enzymatic and metabolic responses to competition in elite junior male basketball basketball. Perceptual and motor skills. Iberian Congress on Basketball Research. 2008;4:83-6.
35. Apostolidis N, Nassis GP, Bolatoglou T, Geladas ND. Physiological and technical characteristics of elite young basketball players. *J Sports Med Phys Fit*. 2003;44:157-63.
36. Hawley J, Burke L. Peak performance: Training and nutritional strategies for sport. St. Leonards, NSW, Australia: Allen and Unwin; 1998.
37. Meckel Y, Gottlieb R, Eliakim A. Repeated sprint tests in young basketball players at different game stages. *Eur J Appl Physiol*. 2009;107:273-9.
38. Hoffman JR, Maresh CM. Physiology of basketball. En: Garrett Jr, WE, Kirkendall DT, editores. Exercise and sport science. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2000. pp. 733-44.
39. González-Badillo JJ, Ribas J. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. Barcelona: INDE; 2002.
40. Delamarche P, Gratas A, Beillot J, Dassonville J, Rochcongar P, Lessard Y. Extent of lactic anaerobic metabolism in handballers. *Int J Sports Med*. 1987;8:55-9.
41. Rannou F, Prioux J, Zouhal H, Gratas-Delamarche A, Delamarche P. Physiological profile of handball players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001;41:349-53.
42. Kounalakis SN, Bayios IA, Koskolou MD, Geladas ND. Anaerobic capacity of the upper arms in top-level team handball players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2008;3:251-6.
43. Loftin M, Anderson P, Lytton L, Pittman P, Warren B. Heart rate response during handball singles match-play and selected physical fitness components of experienced male handball players. *J Sports Med Phys Fitness*. 1996;36:95-9.
44. Buchheit M, Laursen PB, Kuhnle J, Ruch D, Renaud C, Ahmaidi S. Game-based training in young elite handball players. *Int J Sports Med*. 2009;30:251-8.
45. Rodríguez-Alonso M, Fernández-García B, Pérez-Landaluce J, Terrados N. Blood lactate and heart rate during national and international women's basketball. *J Sports Med Phys Fts*. 2003;43:432-6.
46. Gorostiaga EM, Granados C, Ibáñez J, González-Badillo JJ, Izquierdo M. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38:357-66.
47. Kustrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, Bangsbo J. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38:1165-74.
48. Bangsbo J, Mohr M, Kustrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci*. 2006;24:665-74.
49. Beam WC, Merrill TL. Analysis of heart rates recorded during female collegiate basketball. *Med Sci Sports Exerc*. 1994;26:566.
50. Nybo L, Nielsen B. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol*. 2001;91:1055-60.
51. González-Alonso JC, Teller SL, Andersen FB, Jensen T, Hyldig B, Nielsen. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol*. 1999;86:1032-9.
52. McAnulty SR, McAnulty LS, Nieman DC, Morrow JD, Utter AC, Dumke CL. Effect of resistance exercise and carbohydrate ingestion on oxidative stress. *Free Radic Res*. 2005;39:1219-24.
53. Özgünen KT, Kurdak SS, Maughan RJ, Zeren C, Korkmaz S, Yazici Z, et al. Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20 Suppl 3:140-7.
54. Barnett A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Med*. 2006;36:781-96.
55. Lazarim FL, Antunes-Neto JM, Da Silva FO, Nunes LA, Bassini-Cameron A, Cameron LC, et al. The upper values of plasma creatine kinase of professional soccer players during the Brazilian National Championship. *J Sci Med Sport*. 2009;12:85-90.
56. McGregor DJ, Nicholas CW, Lakomy HK, Williams C. The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill. *J Sports Sci*. 1999;17:895-903.
57. Burke L, Deakin V. *Clinical Nutrition*. 2nd edition. Roseville, NSW: McGraw-Hill; 2000.
58. Finaud J, Lac G, Filaire E. Oxidative stress: relationship with exercise and training. *Sports Med*. 2006;36:327-58.
59. Boško ER, Evdokimov VG, Vakhnina NA, Shadrina VD, Potolitsyna NN, Varlamova NG, et al. [Seasonal aspects of the oxidative stress in Northerners]. *Aviakosm Ekolog Med*. 2007;41:44-7.
60. Shing CM, Peake JM, Ahern SM, Strobel NA, Wilson G, Jenkins DG, et al. The effect of consecutive days of exercise on markers of oxidative stress. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2007;32:677-85.
61. Lekhi C, Gupta PH, Singh B. Influence of exercise on oxidant stress products in elite Indian cyclists. *Br J Sports Med*. 2007;41:691-3.
62. Marzatico F, Pansarasa O, Bertorelli L, Somenzini L, Della Valle G. Blood free radical antioxidant enzymes and lipid peroxides following long-distance and lactacidemic performances in highly trained aerobic and sprint athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 1997;37:235-9.
63. Knez WL, Jenkins DG, Coombes JS. Oxidative stress in half and full Ironman triathletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:283-8.
64. Terrados N, Calleja González J. Recuperación post-competición del deportista. *Arch Med Dep*. 2010;138:41-7.



## Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2011;4(2):89-90

www.elsevier.es/ramd



### Cartas al Editor

#### Repercusión de la hipercifosis sobre variables antropométricas y funcionales

##### *The impact of kiphosis on anthropometric and functional variables*

Sr. Editor:

Tras una lectura detenida y con gran interés del artículo de Zurita et al *Repercusión de la hipercifosis sobre variables antropométricas y funcionales*, publicado en el número de diciembre de la *Revista Andaluza de Medicina del Deporte Rev And Med Deporte*, estimo oportuno realizar algunas apreciaciones y comentarios.

En primer lugar, el título del trabajo resulta incorrecto y desafortunado, dado que una alteración morfológica como la hipercifosis es consecuencia, en general, de alteraciones posturales, debilidad muscular y un erróneo esquema corporal; este último aspecto puede deberse a etiologías no estructurantes o estructurantes. Cabría destacar, dentro de las etiologías estructurantes, las causas congénitas (anomalías de la segmentación), las adquiridas (traumáticas, inflamatorias, infecciosas y neoplásicas) y las de tipo distrófico como la enfermedad de Scheuermann<sup>2</sup>. Se deriva, por tanto, que difícilmente la hipercifosis puede ser un factor que repercute o condicione variables antropométricas como el índice de masa corporal que determina el estado de sobrepeso u obesidad.

Según se plasma en la introducción, los autores apuntan acertadamente que la obesidad se relaciona con alteraciones del aparato locomotor<sup>3</sup>, afirmación que está en consonancia con lo hallado por nuestro grupo de investigación<sup>4-7</sup>, no obstante, el título del trabajo apunta en el sentido contrario.

Se observan, además, problemas relacionados con la metodología: a) la variable «alteración raquídea» se dicotomiza en «sin patología» o «presencia de actitud hipercifótica o hipercifosis», lo cual resulta muy simplista puesto que entiendo que se deberían considerar dos momentos para el establecimiento de la clasificación: uno inicial, la exploración del plano sagital en bipedestación y en posición relajada, en el cual podemos distinguir si la curva dorsal es normal, aumentada o disminuida (rectificación) y otro posterior, en el caso de que la curva estuviese aumentada, en el que procederíamos a determinar si esta es reducible o no reducible (estructurada) mediante maniobras de autocorrección. Este procedimiento nos permitiría la clasificación correcta de una actitud cifótica o de una cifosis. Todo ello se realiza mediante mediciones objetivas y la utilización de pruebas de valoración reconocidas y fiables tales como la medición de las flechas sagitales<sup>2</sup> o la medición mediante inclinómetros<sup>2,8,9</sup>; b) la variable *prueba de Adams* es una acertadísima maniobra exploratoria no solo del plano frontal para la detección de giros que nos indicarán escoliosis estructuradas, sino también para la exploración dinámica de la columna en flexión en el plano sagital<sup>2</sup>, en la que igualmente podemos medir dos segmentos que serían C7-D12 (segmento dorsal) y D12-L5 (segmento lumbar)<sup>2</sup>.

Así pues, parece que el artículo carece de una metodología o, al menos, esta no se presenta de forma clara. Más aún, no se observa ningún tipo de medición o cuantificación de las curvas; sin esta se torna muy difícil el poder establecer correlaciones estadísticas con cualquier otro parámetro o variable.

Se observan también más problemas en los resultados del estudio. Si, por una parte, se aportan valores con los cuales estamos de acuerdo en general, un 8,5% de sujetos hipercifóticos y un 26,3% de prevalencia de sobrepeso y obesidad, por otro se estima conveniente que estos resultados fueran diferenciados por sexos<sup>7</sup>. En el párrafo quinto del mismo apartado se menciona: *desde el punto de vista del análisis correlacional, la presencia de hipercifosis no deparó diferencias [...]*; aunque no viene al caso explicar aquí para qué se utilizan los estudios de correlación, esta frase carece de sentido y fundamento. Se vuelve a afirmar en los resultados: *Resaltamos aquí los datos más representativos en cuanto al análisis correlacional de las variables deformidad de la columna (hipercifosis) e índice de obesidad [...]*, sin embargo, no se indica dónde están los coeficientes de correlación que demuestran tal asociación.

Con respecto a las conclusiones, estas presentan varias aseveraciones incorrectas. Así, los autores indican que el 8,5% de los sujetos presenta patología de raquis y que se recomiendan ejercicios saludables y adaptados (con lo cual cualquier profesional de la salud estaría de acuerdo), y cierran con la afirmación de que se ha de favorecer la disminución de los síntomas dolorosos; pero, ¿es que todas las cifosis eran dolorosas?, ¿en niños tan jóvenes? Se estima oportuno recalcar una vez más que no pueden establecerse relaciones entre la obesidad y la hipercifosis, ya que tal afirmación no queda demostrada; además, datos publicados por nuestro grupo de investigación<sup>4-7</sup> no apuntan hacia esa dirección.

Finalmente, los trabajos de investigación pueden ser de carácter descriptivo y son la base de posteriores análisis y planteamiento de hipótesis; no obstante, cualquier relación que se pretenda establecer, derivada de ellos, debería ser demostrada y justificada.

#### Bibliografía

- Zurita F, Fernández M, López C, Fernández R. Repercusión de la hipercifosis sobre variables antropométricas y funcionales. *Rev And Med Deporte*. 2010;3:138-45.
- Santonja F, Pastor A, Andújar P. Cifosis y lordosis. En: Arribas Blanco. *Cirugía menor y procedimientos en Medicina de Familia*. Vol 4. Madrid: Jarpyo Editores; 2006. Cap 232. pp. 1551-62.
- Hernández A. *Alimentación infantil*. Madrid: Díaz de Santos; 1993.
- Alvero-Cruz JR, Carnero EA, Barrera J, Fernández JC, Carrillo M, Martín MC, et al. The Escolola Study: Health, Nutrition, Body Composition and Physical Fitness in Spanish Adolescents. *Helena Symposium: Promoting Healthy European Lifestyle through Exercise, Nutrition in Adolescence*. Granada. 2008.
- Barrera J, Alvero-Cruz JR, Carnero EA, Carrillo M, Martín MC, Fernández JC, et al. Relationships between anthropometric variables and locomotor abnormalities in children aged 12-18 years-old. *Helena Symposium: Promoting Healthy European Lifestyle through Exercise, Nutrition in Adolescence*. Granada. 2008.

6. Barrera J, Alvero-Cruz JR, Martín MC, Fernández JC, Carnero EA, Quiterio AD. Relationships between body composition variables and lower limb morphology in children. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:5:S331.
7. Barrera Expósito J, Alvero-Cruz JR, Carnero EA, Fernández García JC, Sardinha LB. Gender differences in lower limb abnormalities related to overweight. *Obesity Rev.* 2010;1 Suppl 1:217.
8. Lewis JS, Valentine. RE Clinical measurement of the thoracic kyphosis. A study of the intra-rater reliability in subjects with and without shoulder pain. *BMC Musculoskeletal Dis.* 2010;11:39.
9. Williams MA, McCarthy CJ, Chorti A, Cooke MW, Gates S. A systematic review of reliability and validity studies of methods for measuring active and passive cervical range of motion. *J Manipulative Physiol Ther.* 2010;33:138-55.

J.R. Alvero Cruz

*Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte. Universidad de Málaga. Málaga. España.*

*Correspondencia:*

J.R. Alvero Cruz.

Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte.

Facultad de Medicina.

Universidad de Málaga.

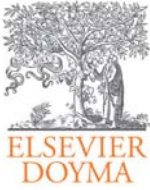
Edificio López de Penalver.

Campus de Teatinos.

29071 Málaga.

Correo electrónico: alvero@uma.es





# Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2009;2(2)

www.elsevier.es/ramd



## Normas

# Normas de Publicación de la Revista Andaluza de Medicina del Deporte

La Revista Andaluza de Medicina del Deporte es la publicación oficial del Centro Andaluz de Medicina del Deporte (órgano dependiente de la Consejería de Turismo, Comercio y Deporte, Junta de Andalucía). Su periodicidad es cuatrimestral.

### INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Se considerarán para publicación aquellos trabajos originales, enviados exclusivamente a la Revista Andaluza de Medicina del Deporte y que estén relacionados con las Ciencias del Deporte. El trabajo habrá de acompañarse, por tanto, de una carta en la que se exponga que no ha sido enviado, ni se está enviando, a otro medio para su publicación.

La revista incluye, de forma regular, artículos sobre investigación clínica o básica (originales), revisiones y cartas al editor.

Todas las contribuciones originales serán evaluadas antes de ser aceptadas por revisores expertos externos designados por el Editor, en un sistema anónimo de revisión por pares.

Los trabajos admitidos para publicación quedarán en propiedad del Centro Andaluz de Medicina del Deporte y su reproducción total o parcial deberá ser convenientemente autorizada. Para tal efecto, antes de la publicación en la revista, el autor(es) deberá(n) firmar y enviar un formulario de transferencia de copyright.

### ENVÍO DE LOS TRABAJOS (MANUSCRITOS)

Los trabajos deberán ser enviados exclusivamente por correo electrónico (e-mail) a la Revista Andaluza de Medicina del Deporte (ramd.ctcd@juntadeandalucia.es), acompañados de una carta de presentación dirigida al Editor Jefe en la que se solicite el examen del mismo para su publicación en la Revista, especificándose el tipo de artículo que envía (Original, Revisión, Artículos especiales, Estudio de casos o Carta al Editor). Igualmente, los autores habrán de confirmar que se trata de un trabajo original que no ha sido previamente publicado total o parcialmente, ni se está enviando para su publicación en otro medio.

**Idioma de la Publicación:** la Revista Andaluza de Medicina del Deporte publica trabajos en Español, Inglés y Portugués.

**Ética:** los autores firmantes de los artículos aceptan la responsabilidad definida por el Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas (ver [www.icmje.org](http://www.icmje.org)). Los trabajos que se envían a la Revista Andaluza de Medicina del Deporte para su evaluación deben haberse elaborado respetando las recomendaciones internacionales sobre investigación clínica y con animales de laboratorio (Declaración de Helsinki, revisada en 2004; ver [www.wma.net](http://www.wma.net)). No se asumirá responsabilidad de nin-

gún tipo por parte de los editores de la Revista Andaluza de Medicina del Deporte sobre daños o perjuicios causados a personas o equipos derivados del uso, ideas, procedimientos u operación de cualquier tipo realizados en el trabajo a ser publicado.

**Conflicto de intereses:** cuando exista alguna relación entre los autores de un artículo y cualquier entidad pública o privada, de la que pudiera derivarse algún potencial conflicto de intereses, esta circunstancia debe ser comunicada al Editor.

### PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Todos los manuscritos se adecuarán a las normas de publicación. Se entiende que el primer firmante de la publicación se responsabiliza de la normativa y que el resto de los autores conoce, participa y está de acuerdo con el contenido del manuscrito.

Es importante leer atentamente estas instrucciones, ya que los manuscritos que no las cumplan serán devueltos por la Coordinación Editorial antes de enviarlos a los revisores.

**Formato (presentación del documento):** Deberá ser un documento en formato electrónico, con el texto en Word y las figuras en formato JPG. Es necesario que esté numerado en el ángulo superior derecho y todos los márgenes han de tener una medida de 2,5 cm.

La extensión del texto variará según la sección a la que vaya destinado:

- Originales: máximo 4.500 palabras, 6 figuras y 6 tablas.
- Revisiones: máximo 4.500 palabras, 6 figuras y 6 tablas. En caso de necesitar una mayor extensión se recomienda comunicarse con el comité editorial de la revista.
- Artículos especiales: máximo 3.500 palabras, 3 figuras y 3 tablas.
- Estudio de casos: entre 1.500 y 2.000 palabras, 4 figuras y 4 tablas.
- Cartas al Editor: máximo de 1.000 palabras.

### Los manuscritos deben seguir la siguiente estructura general:

- Portada\*
- Resumen estructurado en español y palabras clave\*
- Resumen estructurado en inglés y palabras clave \*
- Texto
- Bibliografía
- Agradecimientos (opcional)
- Tablas (opcional)
- Figuras (opcional)

\* Si el idioma del manuscrito fuese portugués habrá de incluirse, igualmente, un resumen estructurado y palabras clave en los idiomas español e inglés.

### – Primera página (Portada):

Figurarán exclusivamente y por este orden los siguientes datos: Título del trabajo (español e inglés), nombre y apellidos de los autores que deberán ir escritos en el siguiente orden:

Primer nombre, iniciales del segundo nombre si lo hubiese, seguido del apellido(s); centro de trabajo y dirección completa. Además, habrá que facilitar el e-mail del autor para la correspondencia.

### – Segunda página:

Resumen del trabajo en español e inglés, que tendrá una extensión máxima de 250 palabras. El resumen ha de estructurarse en cuatro apartados: a) Objetivos; b) Método; c) Resultados, y d) Conclusiones.

Al final de cada resumen se especificarán de tres a diez palabras clave, en castellano e inglés, derivadas preferentemente del *Medical Subject Headings* (MeSH) de la *National Library of Medicine* (ver [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/me\\_shbrowser.cgi](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/me_shbrowser.cgi))

### – Texto: variará según la sección a que se destine:

- Originales: constará de una Introducción, Método, Resultados y Discusión; caso los autores deseen realizar agradecimientos, éstos deberán figurar al final del texto.
- Revisiones: el texto se dividirá en todos aquellos apartados que el autor considere necesarios para una perfecta comprensión del tema tratado.
- Artículos especiales: son artículos que debido a su temática no pueden ser presentados como otro tipo de artículos; por lo tanto, el texto se dividirá en todos aquellos apartados que el autor considere necesario para la mejor comprensión del texto.
- Estudio de casos: el autor incluirá los apartados que considere necesarios para la total comprensión del tema tratado.
- Cartas al Editor: tendrán preferencia en esta sección la discusión de trabajos publicados en los dos últimos números con la aportación de opiniones y experiencias.
- Otras: secciones específicas por encargo del comité editorial de la revista.

### – Bibliografía:

Las referencias han de numerarse de forma consecutiva según el orden de aparición en el texto. En el cuerpo del artículo constará siempre la numeración de la cita en número arábigo en supíndice, independientemente que vayan los nombres de los autores mencionados o no.

En los casos que se mencione el nombre de los autores, se seguirán las siguientes normas:

– De tratarse de un trabajo realizado por dos personas, mencionar a ambos.

*Ejemplo:* según Vaamonde y Oehninger<sup>1</sup> el ejercicio físico intenso puede causar ...

– De tratarse de más de dos autores, citar el primero seguido de la abreviatura “et al.”.

*Ejemplo:* según Vaamonde et al<sup>1</sup>. el ejercicio físico intenso puede causar ...

Las citas bibliográficas se expondrán siguiendo el modelo Vancouver (versión en castellano en [www.metodo.uab.es](http://www.metodo.uab.es))

*Ejemplo:*

Da Silva-Grigoletto ME, Gómez-Puerto JR, Viana-Montaner BH, Armas-Negrin JA, Ugrinowitsch C, García-Manso JM. Comportamiento de diferentes manifestaciones de la resistencia en el voleibol a lo largo de una temporada, en un equipo profesional. *Rev Andal Med Deporte*. 2008; 1(1):3-9.

Otros ejemplos de la bibliografía se pueden ver en [http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform\\_requirements.html](http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html)

### – Tablas:

Se enviarán en un nuevo archivo, deberán ir numeradas, el título se indicará en la parte superior, y las abreviaturas descritas en la parte inferior. Las notas aclaratorias irán al pie y deberán estar ordenadas en números arábigos de acuerdo con su orden de aparición en el texto.

### – Figuras

*Leyenda de las figuras*

Las leyendas (pies) de las figuras (incluyendo las abreviaturas utilizadas) se incluirán en el documento principal en una hoja aparte a continuación de las tablas.

*Figuras y otros materiales gráficos.*

Tanto las gráficas como las fotografías (fotos) son consideradas figuras.

Las figuras pueden confeccionarse con cualquier programa informático pero deben enviarse en formato jpg, con una calidad mínima de 300 dpi. Cada figura debe ir en una página. Las figuras serán en blanco y negro, aunque cuando esté justificado podrán aceptarse fotos en color. Además, se pide a los autores que envíen cada figura en un archivo aparte cuyo nombre será el número de la figura (por ejemplo: figura1.jpg).

La Coordinadora Editorial de la Revista Andaluza de Medicina del Deporte comunicará la recepción de los trabajos enviados e informará sobre el resultado de aceptación y fecha posible de su publicación.

La Dirección de la Revista Andaluza de Medicina del Deporte no se responsabiliza de los conceptos, opiniones o afirmaciones sostenidos por los autores de sus trabajos.

Es conveniente que los autores acudan a un número reciente de la revista por si se produjese alguna modificación a las normas de publicación, y para que puedan acceder a un artículo publicado como ejemplo.

Actualizada en marzo de 2011

## Guidelines

# Publication Guidelines of the Revista Andaluza de Medicina del Deporte (Andalusian Journal of Sport's Medicine)

Medicine (organization dependent on the Tourism, Commerce and Sport's Council, Board of Andalusia). It is published every four months.

### INSTRUCTIONS FOR THE AUTHORS

Those original works, sent exclusively to the Revista Andaluza de Medicina del Deporte and that are related with the Sciences of Sports will be considered for publication. The work must therefore be accompanied by a letter that states that it has not been sent, or is being sent, to any other media for its publication.

The Journal regularly includes articles on clinical or basic (original) research, reviews and letters to the editor.

All original contributions will be evaluated by peer external reviewers named by the Editor before they are accepted, in an anonymous type peer reviews system.

The works admitted for publication will remain as property of the Andalusian Center of Sport's Medicine and its total or partial reproduction must be adequately authorized. For such effect, the author(s) must sign and send a copyright transference form before its publication in the Journal.

### SENDING OF THE WORKS (MANUSCRIPTS)

The works should only be sent by E-mail to the Revista Andaluza de Medicina del Deporte (ramd.ctcd@juntadeandalucia.es), accompanied by a letter of presentation addressed to The Editor in Chief in which its examination for publication in the Journal is requested (Original, Review, Special Articles, Cases study or Letter to the Editor). Equally, the authors must confirm that it is an original work that has not been totally or partially published previously nor is being sent for its publication in another media.

**Language of the Publication:** Revista Andaluza de Medicina del Deporte publishes works in Spanish, English and Portuguese.

**Ethics:** The signing authors of the articles accept the responsibility defined by the International Committee of Medical Journals Publishers (see www.icmje.org). The works that are sent to the Revista Andaluza de Medicina del Deporte for evaluation should have been written respecting the international recommendations on clinical research and with laboratory animals (Declaration of Helsinki, reviewed in 2004; see www.wma.net). No responsibility of any type is assumed by the publishers of the Revista Andaluza de Medicina del Deporte on damages or harm caused to persons or equipment derived from the use, ideas, procedures or operation of any type conducted in the work to be published.

**Conflict of interests:** When there is any relationship between the authors of an article or any public or private company, from which any potential conflict of interest may be derived, this circumstance should be communicated to the Editor.

### PREPARATION OF THE MANUSCRIPT

All the manuscripts must be adapted to the publication guidelines. It is understood that the first signer of the publication will be responsible for the guidelines and that the remaining authors know, participate and agree with the content of the manuscript.

The instructions need to be read carefully since those manuscripts that do not comply with them will be returned by the Editorial Coordination before being sent to the reviewers.

**Format (document presentation):** The document must have an electronic format, with the text written in Word and the figures in JPG format. These must be numbered in the upper right corner and all the margins must measure 2.5 cm.

The text extension will vary according to the section that it is going to be published in:

- Originals: maximum 4,500 words, 6 figures in 6 tables.
- Reviews: maximum 4,500 words, 6 figures in 6 tables. If a longer extension is needed, it is recommended that the authors should speak with the editorial committee of the Journal.
- Special Articles: maximum 3,500 words, 3 figures and 3 tables.
- Cases study: 1,500 to 2,000 words, 4 figures and 4 tables.
- Letters to the editor: maximum of 1,000 words.

### The manuscripts should have the following general structure:

1. Front Page\*
2. Structured summary in Spanish and key words\*
3. Structure summary in English and key words\*
4. Text
5. References
6. Acknowledgments (optional)
7. Tables (optional)
8. Figures (optional)

\* If the language of the manuscript is Portuguese, a structured summary and key words in the Spanish and English language must also be included.

**- First page (Front page):**

The first page can only have the following data that should go in the following order:

Work title (Spanish to English), name and last names of the authors that should be written in the following order:

First name, initials of the second name if any, followed by last name(s); work site and complete address. In addition, an E-mail of the author must be provided for correspondence.

**- Second page:**

Summary of the work in Spanish and English, which must have a maximum extension of 250 words. This summary must be structured into four sections: a) Objectives; b) Methods; c) Results and d) Conclusions

At the end of each summary, 3 to 10 key words must be given in Spanish and English, preferentially derived from the Medical Subject Headings (MeSH) of the National Library of Medicine (see [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/me\\_sbrowser.cgi](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/me_sbrowser.cgi)).

**- Text: it will vary according to the section in which it will be published:**

- a) Originals: This should an Introduction, Method, Results and Discussion; if the authors want to make acknowledgments, these should be inserted at the end of the text.
- b) Reviews: The text should be divided into all of those Sections that the author considers necessary for perfect understanding of the subject in question.
- c) Special Articles: These are articles that due to their subject matter cannot be presented as another type of article. Thus, the text should be divided into those sections that the author considers necessary to achieve the best understanding of the text.
- d) Cases study: The author will include the sections considered necessary for the total understanding of the subject in question.
- e) Letters to the editor: preference will be given in this Section to discussion of the works published in the last two numbers with the contribution of opinions and experiences.
- f) Others: Specific sections requested by the editorial committee of the Journal.

**- References:**

The references must be numbered consecutively according to order of appearance in the text. In the body of the article, the numbering of the citations must always be in arabic number in superscript, regardless of whether the names of the authors are mentioned or not.

If the name of the authors is mentioned, the following guidelines must be followed:

- If the work is conducted by two persons, mention both.

*For example:* According to Vaamonde and Oehninger<sup>1</sup> intense physical exercise may cause...

- If it is more than two authors, mention the first followed by the abbreviation "et al".

*Example:* According to Vaamonde et al<sup>1</sup> intense physical exercise may cause...

Bibliographic citations should be given following the Vancouver model (version in Spanish in [www.metodo.uab.es](http://www.metodo.uab.es)).

*Example:* Da Silva-Grigoletto ME, Gómez-Puerto JR, Viana-Montaner BH, Armas-Negrin JA, Ugrinowitsch C, García-Manso JM. Comportamiento de diferentes manifestaciones de la resistencia en el voleibol a lo largo de una temporada, en un equipo profesional. Rev Andal Med Deporte. 2008 1(1):3-9.

Other examples of the bibliography can be seen in [http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform\\_requirements.html](http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html)

**- Tables:**

These should be sent in a new file, be numbered, the title should be given in the upper part and the abbreviations described in the lower part. The clarification notes should go at the bottom of the page and be ordered with Arabic numbers in accordance with their order of appearance in the text.

**- Figures**

*Figure legend*

The legends (footnotes) of the figures (including the abbreviations used) should be included in the principal document on a separate page from that of the tables.

*Figures and other graphic material.*

Both graphs as well as the photographs (photos) are considered figures.

The figures may be made with any computer program but should be sent in jpg format, with a minimum quality of 300 dpi. Each figure should be in black and white, although when it is justified, they may be accepted in color. Furthermore, the authors will be asked to send each figure in a separate file whose name should be the number of the figure (for example figure1.jpg)

The Editorial Coordinator of Revista Andaluza de Medicina del Deporte will inform on the receipt of the work and will inform on the result of acceptance and possible date of its publication.

The director of the Revista Andaluza de Medicina del Deporte will not be responsible for the concepts, opinions or statements made by the authors in their works.

It would be convenient for the authors to consult a recent number of the Journal to verify if any changes have been made in the publication guidelines and to be able to access a published article that can be used as an example.

MEDICINA INTERNA Y CARDIOLOGÍA, FISIOLOGÍA, NUTRICIÓN, BIOQUÍMICA Y CINEANTROPOMETRÍA, PSICOLOGÍA, PODOLOGÍA, APARATO LOCOMOTOR, BIOMECÁNICA, RECUPERACIÓN FUNCIONAL Y LABORATORIO MUSCULAR

# Centro Andaluz de Medicina del Deporte

## Almería

Isla de Fuerteventura  
04071, Almería  
Teléfono: 950.17.52.30  
Fax: 950.17.52.35  
camd.almeria.ctcd@  
juntadeandalucia.es

## Cádiz

Complejo Deportivo Bahía Sur.  
Paseo Virgen del Carmen s/n  
11100, San Fernando (Cádiz)  
Teléfono: 956.20.3130  
Fax: 956.59.03.35  
camd.cadiz.ctcd@  
juntadeandalucia.es

## Córdoba

Pabellón Vistalegre.  
Plaza Vista Alegre, s/n  
14003, Córdoba  
Teléfono: 957.35.51.85  
Fax: 957.35.51.88  
camd.cordoba.ctcd@  
juntadeandalucia.es

## Granada

Hospital san Juan de Dios.  
San Juan de Dios, s/n  
18071, Granada  
Teléfono y Fax: 958.02.68.02  
camd.granada.ctcd@  
juntadeandalucia.es

## Huelva

Ciudad Deportiva de Huelva.  
Avda. Manuel Siurot, s/n  
21071, Huelva.  
Teléfono: 959.01.59.12  
Fax: 959.01.59.15  
camd.huelva.ctcd@  
juntadeandalucia.es

## Jaén

C/ Menéndez Pelayo Nº 2  
23003, JAÉN  
Teléfono: 953 313 912  
Fax: 953 313 913  
camd.jaen.ctcd@  
juntadeandalucia.es

## Málaga

Inst. Deportivas de Carranque  
Santa Rosa de Lima, 7  
29071, Málaga  
Teléfono: 951.03.57.30  
Fax: 951.03.57.32  
camd.malaga.ctcd@  
juntadeandalucia.es

## Sevilla

Isla de la Cartuja, s/n  
Glorieta Beatriz Manchón, s/n  
41092, Sevilla.  
Teléfono: 955.06.20.25  
camd.ctcd@  
juntadeandalucia.es



**JUNTA DE ANDALUCIA**

CONSEJERÍA DE TURISMO, COMERCIO Y DEPORTE  
Centro Andaluz de Medicina del Deporte

[www.juntadeandalucia.es/turismocomercioydeporte/camd](http://www.juntadeandalucia.es/turismocomercioydeporte/camd)



**JUNTA DE ANDALUCÍA**

CONSEJERÍA DE TURISMO, COMERCIO Y DEPORTE

CENTRO ANDALUZ DE MEDICINA DEL DEPORTE

Glorieta Beatriz Manchón s/n  
(Isla de la Cartuja)  
41092 SEVILLA

Teléfono  
955 062 025

Fax  
955 062 034

Correo electrónico  
[camd.ctcd@juntadeandalucia.es](mailto:camd.ctcd@juntadeandalucia.es)